Ajustements du calendrier de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récoltes annuelles

Louise Gendron, Éric Tamigneaux, Claude Leroux
et Marie-Joëlle Leblanc

Direction régionale des Sciences
Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850 route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

2010

Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques 284

Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Canada

Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports à l'industrie contiennent les résultats des activités de recherche et de développement qui peuvent être utiles à l'industrie pour des applications immédiates ou futures. Ils sont surtout destinés aux membres des secteurs primaire et secondaire de l'industrie des pêches et de la mer. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports à l'industrie peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports à l'industrie sont indexés dans la base de données *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Les numéros 1 à 91 de cette série ont été publiés à titre de rapports sur les travaux de la Direction du développement industriel, de rapports techniques de la Direction du développement industriel, et de rapports techniques de la Direction des services aux pêcheurs. Les numéros 92 à 110 sont parus à titre de rapports à l'industrie du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 111.

Les rapports à l'industrie sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Industry Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Industry reports contain the results of research and development useful to industry for either immediate or future application. They are directed primarily toward individuals in the primary and secondary sectors of the fishing and marine industries. No restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Industry reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is indexed in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Numbers 1-91 in this series were issued as Project Reports of the Industrial Development Branch, Technical Reports of the Industrial Development Branch, and Technical Reports of the Fisherman's Service Branch. Numbers 92-110 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Industry Reports. The current series name was changed with report number 111.

Industry reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport canadien à l'industrie
sur les sciences halieutiques et aquatiques 284

2010

Ajustements du calendrier de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récolte annuelles

Louise Gendron, Éric Tamigneaux[1], Claude Leroux[2]
et Marie-Joëlle Leblanc[1]

Direction régionale des Sciences
Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

[1] ÉPAQ, Cégep de la Gaspésie et des Îles, C.P. 220, Grande-Rivière QC G0C 1V0
[2] CEVAM, Cégep de la Gaspésie et des Îles, C.P. 220, Grande-Rivière QC G0C 1V0

©Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2010
N° de cat. Fs 97-14/284F ISSN 0704-3708

On devra citer la publication comme suit :

Gendron, L., Tamigneaux, E., Leroux, C. et Leblanc, M.-J. 2010. Ajustements du calendrier de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récoltes annuelles. Rapp. can. ind. sci. halieut. aquat. 284: vii+44 p.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES III

LISTE DES TABLEAUX IV

LISTE DES FIGURES V

RÉSUMÉ VII

ABSTRACT VII

1. INTRODUCTION 1

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES 3

2.1. Site d'étude 3
2.2. Conception et installation des filières 3
2.3. Préparation des ficelles de culture 5
2.4. Cycles de culture en mer 9
2.5. Échantillonnage et mesure des algues 10
2.6. Suivi environnemental 11
2.7. Analyse des données 11

3. RÉSULTATS 12

3.1. Cycle automne-printemps (A-P) 12
3.2. Cycle hiver-Été (H-É) 17
3.3. Cycle printemps-Été (P-É) 20
3.4. Comparaison des cycles de culture 25
3.5. Suivi environnemental 28

4. DISCUSSION 30

4.1. Conditions environnementales sur le site de culture 30
4.2. Filière et méthode de travail 30
4.3. Salissures biologiques et prédation 31
4.4. Comparaison des rendements associés aux trois cycles de culture 31
4.5. Qualité des algues associée aux trois cycles de culture 34
4.6. Amélioration des méthodes de préculture en écloserie 34

5. CONCLUSIONS ET RECOMMMANDATIONS 35

6. REMERCIEMENTS 36

7. BIBLIOGRAPHIE 38

ANNEXE 1. MODÈLE DE FILIÈRE UTILISÉ À PASPÉBIAC POUR LES ESSAIS DES TROIS CYCLES DE PRODUCTION DE LAMINAIRES EN 2008-2009. 40

ANNEXE 2. CYCLE VITAL DE SACCHARINA LONGICRURIS 42

ANNEXE 3. APPROCHE UTILISÉE POUR L'INSTALLATION DES CORDES SUR LA LIGNE MAÎTRESSE DANS LE PRÉSENT PROJET 43

ANNEXE 4. PROTOTYPE DE FILIÈRE À DEUX LIGNES MAÎTRESSES ET DE BATEAU POUR LA CULTURE DES LAMINAIRES 44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Coordonnées des deux filières qui ont servi aux essais des trois cycles de culture des laminaires de septembre 2008 à juillet 2009. 5

Tableau 2. Calendrier des opérations de culture selon les trois cycles de production..... 10

Tableau 3. Densité et biomasse humide des plants (moyenne ± erreur type) par mètre de corde de filière pour chaque cycle de culture au moment du suivi et de la récolte. n.d.: non déterminé..... 13

Tableau 4. Longueur des frondes de l'ensemble des plants (moyenne ± erreur type) et du 4^{e} quartile pour chaque cycle de culture au moment du suivi et de la récolte. n.d.: non déterminé..... 13

Tableau 5. Pourcentage des plants dont la fronde dépasse 30 cm et 50 cm de longueur (moyenne ± erreur type) pour chaque cycle de culture au moment du suivi et de la récolte. n.d.: non déterminé..... 14

Tableau 6. Accroissement de la longueur des frondes(mm/j) (moyenne ± erreur type) de l'ensemble des plants et des plants du 4^{e} quartile entre chaque échantillonnage pour les trois cycles de culture. n.d. : non déterminé. 14

Tableau 7. Résultats de l'analyse de covariance (longueur des frondes et cycle de culture) sur la largeur des frondes..... 28

Tableau 8. Variations de la salinité de l'eau à différentes profondeurs sur le site de mariculture de Paspébiac entre septembre 2008 et juillet 2009..... 29

Tableau 9. Profondeur de disparition du disque de Secchi sur le site de mariculture de Paspébiac entre septembre 2008 et juillet 2009. 29

Tableau 10. Comparaison des calendriers de culture, de la taille à la mise en mer et des rendements à la récolte pour différentes espèces de laminaires cultivées dans l'hémisphère nord. 37

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte montrant le site de mariculture dans la baie de Paspébiac et l'emplacement des deux filières. GO = grappin d'amarrage ouest, GE = grappin d'amarrage est, BC = bouée cylindrique..... 4

Figure 2 : Ficelles de nylon tressées de 4 mm de diamètre ensemencées avec des spores de laminaires et enroulées autour des supports cylindriques de PVC de 6 cm de diamètre et de 24 cm de haut. 8

Figure 3. Travail en mer à bord du bateau montrant l'opération d'enroulement de la ficelle portant les sporophytes sur la corde maîtresse de la filière. La ficelle est enroulée sur le support cylindrique en PVC qui a servi à l'étape de préculture 9

Figure 4. Cycle Automne-Printemps (A-P). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées A) le 27 novembre 2008, après 64 jours de culture en mer et B) le 17 avril 2009, après 205 jours de culture en mer. Les données sont lissées sur trois valeurs. 15

Figure 5. Cycle Automne-Printemps (A-P). Apparence des algues lors du suivi le 27 novembre 2008 A) sur la filière en mer et B) au laboratoire et C) au moment de la récolte le 17 avril 2009. 16

Figure 6. Cycle Automne-Printemps (A-P). Relation entre la longueur et la largeur des frondes (données brutes). L'équation de régression a été calculée sur les données transformées (racine carrée). 17

Figure 7. Cycle Hiver-Été (H-É). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées A) le 17 avril 2009, après 141 jours de culture en mer et B) le 22 juillet 2009, après 237 jours de culture en mer. Les données ont été lissées sur trois valeurs. 18

Figure 8. Cycle Hiver-Été (H-É). Apparence des algues A) au moment du suivi le 17 avril 2009 et B) au moment de la récolte le 22 juillet 2009. 19

Figure 9. Cycle Hiver-Été (H-É). Relation entre la longueur et la largeur des frondes (données brutes). L'équation de régression a été calculée sur les données brutes..... 20

Figure 10. Cycle Printemps-Été (P-É). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées le 22 juillet 2009, après 96 jours de culture en mer (ficelles de nylon et kuralon regroupées). 21

Figure 11. Cycle Printemps-Été (P-É). Apparence des algues au moment de la récolte le 22 juillet 2009. 21

Figure 12. Cycle Printemps-Été (P-É). Relation entre la longueur et la largeur des frondes (données brutes). L'équation de régression a été calculée sur les données transformées (racine carrée). 22

Figure 13. Cycle Printemps-Été (P-É). Comparaison des ficelles de nylon et de kuralon A) longueur initiale des plantules, B) longueur des frondes à la récolte. 23

Figure 14. Cycle Printemps-Été (P-É). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées le 22 juillet 2009, après 96 jours de culture en mer, A) provenant de ficelles de nylon ensemencées avec des spores provenant de sores fraîches et B) provenant de ficelles de kuralon ensemencées avec une suspension de gamétophytes. 24

Figure 15. Cycle Printemps-Été (P-É). Comparaison des ficelles de nylon et de kuralon A) densité des plants à la récolte et B) biomasse d'algues à la récolte. 25

Figure 16. Densité moyenne (+ erreur-type) des plants sur les filières lors de la récolte pour les trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement. 26

Figure 17. Biomasse humide moyenne (+ erreur-type) des plants sur les filières lors de la récolte pour les trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement. L'analyse de variance ainsi que les comparaisons multiples ont été effectuées avec les données transformées (transformation logarithmique) afin d'améliorer l'homoscédasticité. 26

Figure 18. Longueur moyenne (+ erreur-type) des frondes des algues lors de la récolte pour les trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement. L'analyse de variance ainsi que les comparaisons multiples ont été effectuées avec les données transformées (transformation logarithmique) afin d'améliorer la normalité de la distribution. 27

Figure 19. Accroissement moyen en mm / jour (+ erreur-type) des frondes pour l'entière durée de la mise en mer pour chacun des trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement 27

Figure 20. Variations de la température de l'eau à 8 mètres de profondeur entre juin 2008 et juillet 2009 sur le site de mariculture de Paspébiac. Les lignes continues représentent les périodes des trois cycles de production A-P (Automne-Printemps), H-É (Hiver-Été) et P-É (Printemps-Été). 29

RÉSUMÉ

Gendron, L., Tamigneaux, E., Leroux, C. et Leblanc, M.-J. 2010. Ajustements du calendrier de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récoltes annuelles. Rapp. can. ind. sci. halieut. aquat. 284: vii+44 p.

Les essais de culture de l'algue *Saccharina longicruris* dans la baie des Chaleurs ont jusqu'ici visé un seul cycle de production annuel, d'avril à novembre. Durant ces essais, les laminaires ont subi une importante dégradation suite à la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea*. La présente étude visait donc à vérifier s'il est possible de réduire les pertes dues au bryozoaire, en décalant le cycle de production de façon à éviter la culture durant les mois d'été (juillet et août). Par la même occasion, l'étude visait aussi à voir s'il était possible d'obtenir des rendements potentiellement intéressants avec trois cycles de production de quatre mois par an (cycles d'automne, d'hiver et de printemps). Les résultats indiquent que les cycles courts ne permettent pas de fournir un volume de récolte suffisant. Cependant, la mise à l'eau de plantules à la fin de l'automne et leur récolte en juillet de l'année suivante (cycle de production de 8-10 mois) pourrait constituer une bonne stratégie de culture de *S. longicruris*, avec des rendements de l'ordre de 3,3 kg par mètre de corde de filière, constitués d'algues de grande taille (fronde ≥ 1m), de belle apparence et exemptes de bryozoaires.

ABSTRACT

Gendron, L., Tamigneaux, E., Leroux, C. et Leblanc, M.-J. 2010. Ajustements du calendrier de culture de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*) en Gaspésie (Québec) pour éviter la colonisation des frondes par le bryozoaire *Membranipora membranacea* et augmenter le nombre de récoltes annuelles. Rapp. can. ind. sci. halieut. aquat. 284: vii+44 p.

Until recently, cultivation trials of the algae *Saccharina longicruris* conducted in the Baie-des-Chaleur only aimed at one production cycle per year, from April to November. During those trials, colonisation of fronds by the bryozoa *Membranipora membranacea* caused considerable damages to the algae. The present study aimed to determine if shifting the production cycle in order to avoid cultures during the summer (July and August) can reduce damages caused by the infestation of the fronds by bryozoans. At the same time, the possibility of obtaining potentially interesting yields from three production cycles per year (fall, winter and spring cycles) was tested. Results indicate that the short production cycles did not provide sufficient harvest volume. However, starting the cultures in late fall and harvesting the algae in early July of the following year (production cycle of 8-10 months) could be the best production strategy for *S. longicruris*, with yields in the order of 3.3 kg per meter of longline rope, composed of large algae (frond ≥ 1m) with a nice appearance and free from bryozoans.

1. INTRODUCTION

La culture des macro-algues marines constitue une activité nouvelle au Québec qui a été initiée en Gaspésie à l'automne de 2005 à la demande d'un promoteur de la baie des Chaleurs, *Les Gaspésiennes – Algues inc.* (Gendron *et al.* 2007). Cette entreprise était déjà active dans la transformation d'algues marines à des fins horticoles et alimentaires à partir de la récolte de plants sauvages en plongée sous-marine, plus spécifiquement de la laminaire à long stipe (*Saccharina longicruris*). Elle souhaitait avoir un meilleur contrôle sur son approvisionnement en termes de régularité, quantité et qualité et voyait la culture comme une solution possible.

Des essais de culture de la laminaire à long stipe ont donc été entrepris à partir de 2005, basés sur une technologie connue et accessible (Druehl 1980, 1988), qui avait aussi été utilisée une quinzaine d'années plus tôt, à la demande d'un promoteur des Îles de la Madeleine (Marsot et Fournier 1992). Plusieurs travaux ont été faits depuis, en partenariat avec l'entreprise gaspésienne. Un premier essai de culture en mer a été réalisé en 2006 au large de Paspébiac dans la baie des Chaleurs (Gendron *et al.* 2007). Cette culture a été réalisée avec des ficelles ensemencées de spores obtenues de plants matures récoltés en milieu naturel. Après six semaines de culture, les ficelles avec les spores, alors devenus sporophytes ont été mises dans des bassins de culture pour quatre mois, puis transférées en mer pour un autre cinq mois. Malheureusement, cette première culture s'est soldée par un échec, en terme de biomasse récoltée, en raison de la colonisation des thalles par le bryozoaire *Membranipora membranacea.* Cette espèce non indigène et envahissante se fixe de manière préférentielle sur les frondes de laminaires et forme des colonies encroûtantes de plusieurs dizaines à plusieurs milliers d'individus. Les individus (ou zoïdes) sécrètent des loges calcaires densément accolées les unes aux autres. La présence de ces colonies diminue la flexibilité des frondes qui se brisent sous l'effet des mouvements de l'eau. Malgré tout, cet essai aura permis de démontrer la faisabilité de l'induction de la sporulation chez les plants matures de *S. longicruris*, la capacité de faire germer et croître des plantules en milieu contrôlé, ainsi que la possibilité de transférer les algues en mer avec succès et d'obtenir une bonne survie et une bonne croissance (avant la colonisation par le bryozoaire). Finalement, ce premier essai aura en outre permis de développer le côté technique de la culture des laminaires en testant les protocoles d'ensemencement des ficelles et en mettant au point les structures pour la culture en mer.

Une seconde culture a été tentée en 2007, cette fois sur deux sites, l'un à Paspébiac et l'autre à Grande-Rivière, et à cinq profondeurs (entre 2 et 11 m), afin de pouvoir généraliser le potentiel de culture ailleurs qu'à Paspébiac et de tester l'existence d'un refuge spatial et bathymétrique contre la colonisation par le bryozoaire envahissant (Gendron et Tamigneaux 2008). Les résultats ont montré que des conditions favorables à la survie et la croissance des algues en culture étaient présentes également à Grande-Rivière, laissant supposer que la faisabilité de la culture de laminaires pourrait être généralisée à d'autres secteurs de la côte gaspésienne. Par contre, le site de Grande-Rivière n'a pas fourni de refuge spatial contre le bryozoaire. La profondeur n'a pas non plus servi de refuge, mais les résultats sommaires ont néanmoins montré que mis à part le problème de colonisation par le bryozoaire, les laminaires se développaient bien à des profondeurs supérieures à 5 m de la surface. Ceci représentait une observation

particulièrement intéressante, susceptible de constituer une alternative à la culture en surface qui est la stratégie standard en Europe et en Asie.

Les essais de 2006 et 2007 ont été réalisés selon un calendrier visant à éviter de maintenir des structures aquacoles en mer pendant les mois d'hiver en raison des inconvénients liés à la présence des glaces. Les plantules étaient produites en écloserie au cours de l'automne, maintenues en bassins au cours de l'hiver sous lumière artificielle et transférées sur des filières de surface, en mer, le plus tôt possible après le départ des glaces, au printemps, avec l'objectif de récolter les plants vers la fin de l'automne. Il est devenu évident, suite à ces deux années d'essais que ce calendrier de culture n'était pas optimal en raison du chevauchement de la période de culture avec celle de la fixation et du développement du bryozoaire. Par ailleurs, à cause de la présence des glaces dérivantes, les algues ne pouvaient être transférées en mer qu'en mai, ce qui les privait de la meilleure période de croissance, tôt au printemps. En effet, à l'état sauvage, un accroissement linéaire des frondes > 1 cm/j a été observé entre mars et mai dans nos régions (Gendron 1989). De plus, l'observation fortuite de laminaires de 10-30 cm en mai sur des structures de mytiliculture suggère que, dans la baie des Chaleurs, les algues connaîtraient également une croissance non négligeable durant l'hiver.

Les essais réalisés en 2008-2009, toujours en partenariat avec la même entreprise, avaient comme but de tester d'autres fenêtres temporelles de culture pouvant limiter la colonisation des frondes par le bryozoaire envahissant. Ceux-ci devaient aussi permettre de voir s'il était possible, à l'instar d'autres régions, de réaliser plus d'un cycle de production annuel. Par exemple, la culture d'*Undaria pinnatifida* sur les côtes bretonnes de France génère trois récoltes par an, au terme de trois cycles de culture de quatre mois sur des filières de surface: d'octobre à février, de février à mai et de mai à octobre (Pérez *et al.* 1990). Les essais en Gaspésie ont donc été planifiés afin de vérifier s'il était possible de réaliser annuellement trois cycles de production d'environ quatre mois sur des filières de culture maintenues à 7-8 m sous la surface, à savoir 1) un cycle d'automne (fin-août à mi-décembre), 2) un cycle d'hiver (mi-décembre à mi-avril), et 3) un cycle de printemps (début mars à début-juillet). La profondeur de culture a été déterminée de façon à maintenir les laminaires à l'abri des glaces dérivantes durant l'hiver et des facteurs de stress potentiels de la couche de surface en été (salinité faible, température élevée et déplétion de sels nutritifs) (Gendron *et al.* 2007, Gendron et Tamigneaux 2008). La possibilité de faire trois récoltes durant l'année présentait également l'avantage, pour le partenaire industriel, de pouvoir assurer un approvisionnement régulier et étalé sur l'année. Finalement, ce calendrier de culture aurait l'avantage d'assurer une interruption des cultures en été (juillet à août), soit pendant la période de dispersion des larves de *M. membranacea*, fournissant alors un refuge temporel contre la fixation du bryozoaire.

Pour réaliser ces essais à différents moments de l'année il fallait disposer en tout temps de propagules pour ensemencer les ficelles de culture et devenir indépendant de la production naturelle de spores par des plants sauvages. Dans cette optique, deux méthodes ont été utilisées et perfectionnées, soit l'induction artificielle de la sporogénèse chez des plants immatures selon la méthode de Pang et Lüning (2004) et la conservation prolongée de gamétophytes en « free-living » (Pérez *et al.* 1992 , Andersen 2005).

Les objectifs spécifiques de ce projet étaient donc :

- de vérifier si un calendrier de culture excluant les mois de juillet et août permet d'éviter les pertes de rendements (biomasse d'algues) causées par le bryozoaire *M. membranacea*;
- d'examiner les rendements de récolte qui pourraient être obtenus selon trois cycles de production;
- de documenter l'évolution de la densité, de la biomasse, de la taille des plants et de la croissance au cours des différents cycles.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. SITE D'ÉTUDE

Les essais en mer ont été réalisés sur le site maricole de l'entreprise *Les Gaspésiennes-Algues inc.*, au large de Paspébiac dans la baie des Chaleurs (coin nord-est du site, 48° 0,365 N et 65° 16,998 O) (Figure 1). Les caractéristiques physico-chimiques de ce site ont été décrites dans les travaux réalisés en 2006 et 2007 (Gendron *et al.* 2007, Gendron et Tamigneaux 2008), et indiquent que ce site était propice à la survie et à la croissance de *S. longicruris*. Selon ces données, la température à 2 m sous la surface a fluctué entre 5 et 20°C de mai à novembre. Bien qu'en 2007 la température se soit approchée de la limite létale (23°C), elle est demeurée généralement à l'intérieur du préférendum de l'espèce, soit de 0 à 20°C (voir revue par Gendron et Tamigneaux 2008, Tableau 20). Une salinité entre 25 et 32 est optimale pour le développement de *S. longicruris*. Les salinités mesurées au site d'étude en 2007 étaient généralement adéquates, soit 24-28 près de la surface (1-2 m de la surface) et 26-30 à 10 m de la surface. On a observé en 2006 et 2007 que l'abondance en sels nutritifs diminuait progressivement au cours de l'été pour atteindre un minimum au mois d'août (Gendron *et al.* 2007). Les niveaux de sels azotés pourraient donc être limitants pour la croissance des algues au cours de la période estivale. Au site de Paspébiac, l'eau est plutôt claire, avec une profondeur de Secchi de 3 à 5 m, mesurée au printemps et en été 2007 (Gendron et Tamigneaux 2008). On a donc postulé que jusqu'à 7-8 m de profondeur, la luminosité serait suffisante pour assurer une bonne croissance de *S. longicruris*. En effet, chez cette espèce, la photosynthèse est saturée à des intensités lumineuses assez faibles, de l'ordre de 75-90 µmole m^{-2} s^{-1} (Chapman 1987). L'intensité lumineuse de compensation est également très faible, soit 4-5 µmole m^{-2} s^{-1} (Chapman 1987), ce qui explique pourquoi dans la baie des Chaleurs, on retrouve cette algue jusqu'à au moins 12 m de profondeur (Gendron 1983).

2.2. CONCEPTION ET INSTALLATION DES FILIÈRES

Le 24 septembre 2008, deux filières submergées avec une ligne porteuse horizontale de 50 m de long ont été installées dans la partie nord du site maricole, près de la côte, où la profondeur de l'eau est d'environ 17 m (Figure 1 et Tableau 1). Les deux filières ont été ajustées afin que la ligne porteuse se trouve entre 7 et 8 m de profondeur. Il s'agit d'un modèle de filière avec des amarrages amortisseurs en V semblables aux filières utilisées pour le captage du naissain de pétoncle au Nouveau-Brunswick (Annexe 1) (Davidson *et*

al. 2007). La tension est moins élevée sur ce type de filière, ce qui la rend plus facile à hisser en surface avec un bateau de petite taille. La filière 1 a servi aux cycles d'automne et de printemps alors que la filière 2 a servi au cycle d'hiver (voir point 2.4 pour la description détaillée des cycles). Nous considérons que les effets inter-filières sont négligeables en raison de leur proximité et du fait que les opérations qui s'y sont déroulées étaient faites de la même façon.

La manipulation des filières a été faite à partir d'un catamaran de type Hybricat 28; d'une longueur de 9 m hors-tout, possédant une petite grue et un treuil hydraulique de faible puissance.

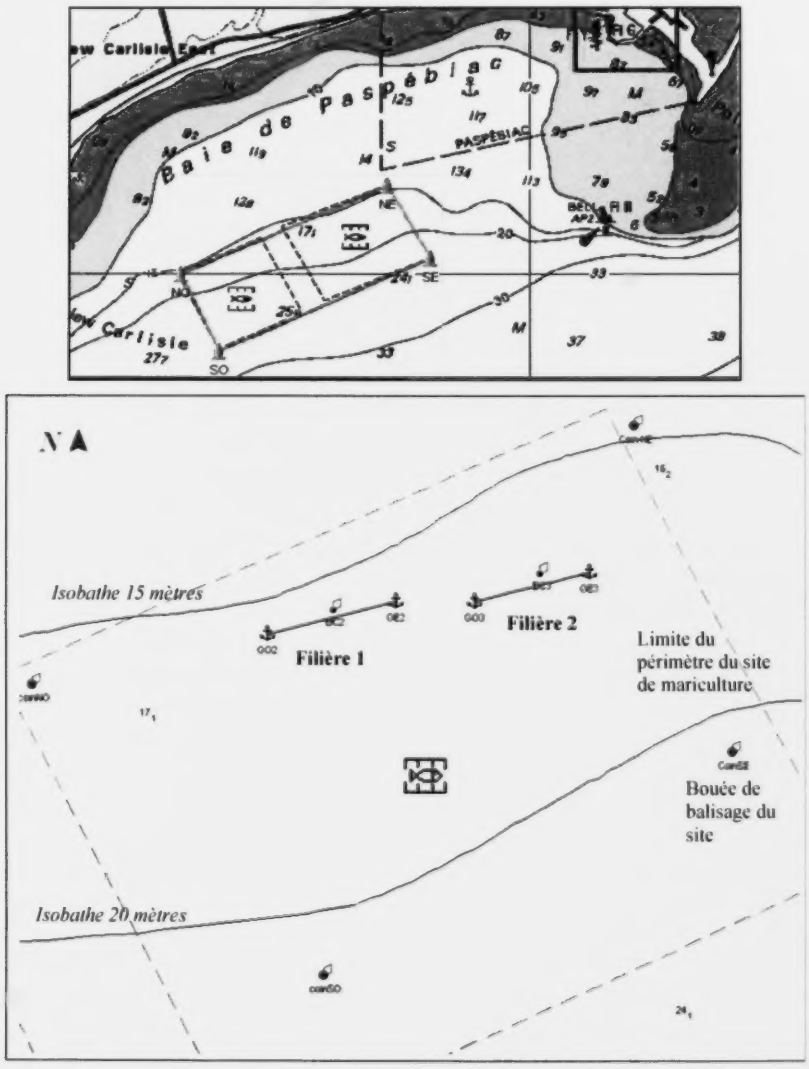


Figure 1. Carte montrant le site de mariculture dans la baie de Paspébiac et l'emplacement des deux filières. GO = grappin d'amarrage ouest, GE = grappin d'amarrage est, BC = bouée cylindrique.

Tableau 1. Coordonnées des deux filières qui ont servi aux essais des trois cycles de culture des laminaires de septembre 2008 à juillet 2009.

Filière	Structures	Coordonnées GPS	
1	Grappin de l'amarrage Ouest	48°00,271 N	65°17,285 O
1	Grappin de l'amarrage Est	48°00,287 N	65°17,151 O
2	Grappin de l'amarrage Ouest	48°00,307 N	65°17,064 O
2	Grappin de l'amarrage Est	48°00,310 N	65°16,922 O

2.3. PRÉPARATION DES FICELLES DE CULTURE

2.3.1. Récolte de plants reproducteurs

Le 10 juillet 2008, des laminaires adultes ont été récoltées en plongée sous-marine dans des herbiers naturels connus situés non loin de Grande-Rivière (à Percé). Ces plants ont été utilisés pour le cycle d'automne (voir point 2.4). Toutefois, puisque ces plants ne portaient pas de sores, la maturation des plants a été induite selon la méthode de Pang et Lüning (2004) (voir point 2.3.2). Pour ensemencer les ficelles du cycle d'hiver, des plants de *S. longicruris* de grande taille (> 2 m) dérivant en surface et porteurs de sores matures ont été recueillis dans le port de Paspébiac le 24 septembre 2008. Finalement, pour le cycle de printemps, les algues ont été récoltées le 2 février 2009, non loin de Grande-Rivière (Anse-à-Beaufils). La maturation des plants a également été induite selon la méthode de Pang et Lüning (2004). À chaque récolte, une dizaine de plants adultes de grande taille (≥ 1,5 m) étaient sélectionnés.

Une description du cycle reproducteur des laminaires est présentée à l'Annexe 2.

2.3.2. Production de spores pour l'ensemencement

Plants matures

L'induction de la sporulation chez les plants matures a été exécutée en suivant le protocole développé par Pérez *et al.* (1990). Des sections d'environ 5 cm^2 ont été découpées dans la partie la plus sombre et épaisse de sores matures. Ces sections ont été frottées avec du papier absorbant pour en éliminer les épibiontes et rincées avec de l'eau de mer stérilisée à l'autoclave. Elles ont ensuite été désinfectées en les trempant deux minutes dans une solution d'eau de mer stérile additionnée d'eau de javel (hypochlorite de sodium à 30 mg/L). Elles ont été rincées en les trempant successivement dans deux bains d'eau de mer stérile contenant du dioxyde de germanium (1 mg/L; inhibiteur de croissance des diatomées) et épongées avec du papier absorbant. Pour obtenir une déshydratation partielle favorisant l'émission des spores, les sections de frondes avec des sores ont été entreposés sur du papier absorbant à 4 °C, à l'obscurité, dans une chambre froide pour 6 à 8 heures. Afin de provoquer la sporulation, les sections de sores ont par la suite été plongées dans un bécher de 2 L d'eau de mer stérile à 10-12°C, en pleine lumière et avec agitation manuelle pendant 5-30 minutes pour recueillir le maximum de spores. La solution contenant les spores, qui devenait fortement colorée, était finalement

filtrée sur des tamis de 20 et 10 µm pour éliminer les débris tissulaires et les colloïdes libérés avec les spores. Il n'y a pas eu d'estimation de la concentration en spores dans la solution. On a postulé qu'elle était suffisamment concentrée pour réussir l'ensemencement des cordes. Dans les cas où la libération des spores avait échoué, ce qui était visible à l'œil nu par l'absence de coloration du liquide, les sections de sores étaient placées dans un dessiccateur de laboratoire rempli de driérite et maintenu pendant 3 heures à 10 °C, à l'obscurité. On procédait ensuite à un nouvel essai de sporulation.

Plants immatures

Comme certaines laminaires n'avaient pas complété leur maturation au moment de la récolte, la méthode d'induction artificielle de la sporogénèse décrite par Pang et Lüning (2004) a été utilisée pour stimuler la production de spores compétentes. À l'arrivée au laboratoire, les plants immatures étaient coupés à 30 cm au-dessus du point d'attache du stipe. La section de fronde ainsi obtenue était immergée immédiatement dans un bassin rectangulaire et maintenue à l'horizontale sur un support en filet de monofilament en nylon transparent, juste sous la surface de l'eau. Le bassin était alimenté avec un débit modéré d'eau de mer neuve (60 litres/h ou un changement d'eau par jour) fortement agitée par des aérateurs immergés au fond du bassin. L'eau était maintenue à 15 °C par des chauffe-eau baïonnettes reliés à un thermostat. Des tubes fluorescents suspendus au-dessus du bassin permettaient de conserver l'intensité lumineuse entre 30 et 40 μmole m^{-2} sec^{-1} à la surface de l'eau. Une minuterie maintenait une photopériode de jours courts et constants (8 L:16 N). De cette façon, des sores matures contenant des spores compétentes ont été obtenus après environ 30 jours. La sporulation a par la suite été déclenchée à l'aide de la méthode décrite à la section précédente.

Culture de semences en free-living

Afin de s'assurer de la disponibilité de matériel pour ensemencer les ficelles de culture en tout temps, des cultures *in vitro* de gamétophytes ont été conservées à partir de la sporulation des plants matures récoltés le 24 septembre 2008. Ainsi, pour le cycle de printemps 2009, des gamétophytes mâles et femelles issus de cette technique ont été utilisés pour ensemencer une partie des ficelles de culture.

Pour produire cette culture, un filtrat de spores mobiles, obtenu suite à l'induction de la sporulation tel que décrit plus haut, a été transféré dans des ballons de culture en verre. Ceux-ci ont été remplis d'eau de mer stérile contenant du milieu de culture et des biocides, tel que décrit dans Leblanc et Tamigneaux (2008). Lors du contact entre l'eau de mer (alcaline) et le milieu de culture (acide), un des sels du milieu de culture forme un précipité cristallin au fond du ballon. Ce précipité constitue un substrat solide sur lequel les spores peuvent se fixer et germer. Une fois les spores germées (production des gamétophytes), ce qui prend environ trois jours, un diffuseur d'air alimenté par un compresseur a été installé dans les ballons de culture afin de renouveler le CO_2 et homogénéiser le milieu en dispersant les amas de gamétophytes. L'air alimentant les diffuseurs a été stérilisé par barbotage dans une solution de sulfate de cuivre à 4 %, ce qui permet de détruire les spores et filaments de champignons et les algues microscopiques véhiculés par l'air.

Les cultures de gamétophytes en « free-living » étaient conservées à 10 °C dans un incubateur végétal à température et éclairage contrôlés (Low temperature illuminated incubator 218. Precision. Thermo Electron Corporation). Les tubes fluorescents de l'incubateur étaient entourés d'un filtre rouge pour prévenir la maturation sexuelle des gamétophytes. Le milieu de culture a été renouvelé tous les quinze jours et à cette occasion, les amas de filaments étaient fragmentés en les passant dans un tamis en Nytex® (250 µm de taille de maille) avant d'être transférés dans le nouveau milieu de culture.

Juste avant l'ensemencement des ficelles, les cultures étaient exposées à la lumière blanche (30-40 µmole m^{-2} sec^{-1}) pendant trois jours pour activer la maturation sexuelle des gamétophytes. Avant de procéder à la pulvérisation, les cultures étaient examinées au microscope pour s'assurer d'avoir un rapport Mâle : Femelle proche de 50 : 50. Au besoin, plusieurs cultures étaient mélangées pour obtenir une solution contenant des filaments mâles et femelles en parts égales.

2.3.3. Ensemencement des ficelles et préculture des plantules en écloserie

Des sections de 10 m de longueur de ficelle blanche en fibres de nylon tressées de 4 mm de diamètre ont été utilisées comme ficelles de culture. Des supports cylindriques en PVC lourd ajourés de 24 cm de haut et 6 cm de diamètre ont également été préparés. Les ficelles ont été immergées dans de l'eau bouillante pendant 5 h pour les désinfecter et en éliminer toute substance toxique. Elles ont ensuite été rincées pendant 3 h dans de l'eau courante (eau douce déchlorée). Les ficelles ont été enroulées sur le support de PVC en conservant un espace de 3 mm entre chaque spire (Figure 2). Les ficelles sur leurs supports ont ensuite été séchées à l'étuve pendant 48 h à 60 °C et entreposées au frais à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à leur utilisation. Au moment de procéder à l'ensemencement, les supports portant les ficelles ont été plongés pendant 12 h dans une chaudière contenant une solution de spores produite tel que décrit plus haut. Le tout a été maintenu à 10 °C, sous une intensité lumineuse de 8-10 µmole m^{-2} sec^{-1} et sans bullage, pour favoriser la fixation et la germination des spores.

Dans le cas de l'ensemencement de ficelles avec les gamétophytes obtenus par la culture en « free-living », quatre sections d'environ 10 m de longueur de ficelle en kuralon (vinylon ou « polivinyl alcohol polymer ») de 2 mm de diamètre ont été enroulées autour de supports en PVC, tout comme pour les ficelles en nylon. Les ficelles de kuralon ont ensuite été ensemencées en pulvérisant le mélange de gamétophytes mâles et femelles à l'aide d'un compresseur.

Suite à l'ensemencement, les supports cylindriques de PVC ont été transférés dans un bac en verre contenant 50 L d'eau de mer stérile enrichie avec un milieu de culture Guillard F/2 sans silicate (F/2 algae food : www.fritzpet.com). Des biocides (dioxyde de germanium et kanamycine) ont été ajoutés lors des trois premières semaines de préculture. Ce milieu a été maintenu à une température de 10 °C avec une photopériode de 18 L:6 N et sous une intensité lumineuse de 30-40 μmole m^{-2} sec^{-1} de lumière blanche. Après trois jours, un léger bullage a été ajouté, alimenté avec de l'air stérile ayant barboté dans une solution de sulfate de cuivre à 4 %. L'eau du bassin ainsi que le milieu de culture ont été renouvelés à chaque semaine pour une durée d'environ un mois.

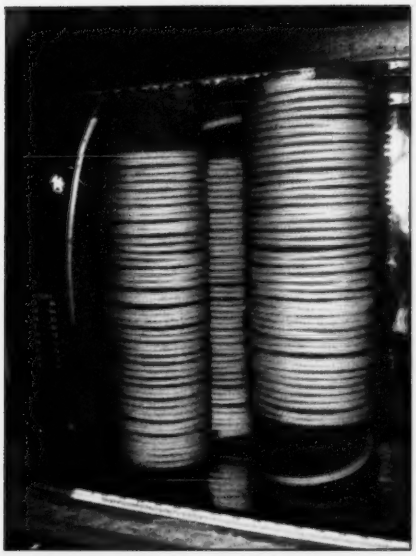


Figure 2 : Ficelles de nylon tressées de 4 mm de diamètre ensemencées avec des spores de laminaires et enroulées autour des supports cylindriques de PVC de 6 cm de diamètre et de 24 cm de haut.

2.3.4. Transfert des plantules en mer

Après 30 à 40 jours de culture en écloserie, les plantules avaient atteint une longueur de 2-5 mm et étaient prêtes à être transférées en mer. Une semaine avant le transfert en mer, la température de la salle de préculture a été progressivement ajustée à la température de la mer. Le jour du transfert, les tubes de PVC ont été installés sur des supports verticaux fixés à l'intérieur d'une glacière jusqu'au moment de leur installation sur la filière. Pendant le transport vers le site maricole, d'une durée de 2 heures, les plantules ont été humidifiées à deux reprises avec un pulvérisateur manuel rempli d'eau de mer stérile froide (Arbonna et Molla 2006).

Sur le site, la ligne porteuse a été remontée et les ficelles portant les plantules y ont ensuite été enroulées en spirale serrée. L'enroulement des ficelles portant les plantules a été réalisé à la main en faisant tourner le tube support en PVC autour de la filière pendant que le bateau se déplaçait le long de la filière (Figure 3). Pour ce faire, une première personne enroulait la ficelle et une autre personne fixait la ficelle à la corde de la filière à tous les 2 m avec des colliers de serrage en plastique (« tie-wrap »). Il s'est révélé difficile de maintenir un écartement constant entre chaque spire, si bien que la longueur totale de ficelle installée pouvait varier d'une fois à l'autre (voir section suivante).

Figure 3. Travail en mer à bord du bateau montrant l'opération d'enroulement de la ficelle portant les sporophytes sur la corde maîtresse de la filière. La ficelle est enroulée sur le support cylindrique en PVC qui a servi à l'étape de préculture .

2.4. CYCLES DE CULTURE EN MER

Le calendrier prévu pour le transfert en mer, pour le suivi et pour la récolte des algues a dû être modifié en raison de diverses contraintes techniques et météorologiques (Tableau 2). La planification initiale prévoyait trois cycles d'environ 4 mois (≈ 120 jours), soit un cycle d'automne commençant vers la fin août et se terminant en décembre, un cycle d'hiver, de décembre à avril et un cycle de printemps, de mars à juillet.

Le transfert en mer des plantules pour le cycle d'automne (Cycle 1) n'a pas pu être fait avant le 24 septembre, soit près d'un mois plus tard que prévu. À cette date, 7 segments de 10 m de ficelle (70 m au total) portant des plantules ont été enroulés autour de la filière 1. Le remisage du bateau pour l'hiver a dû être fait plus tôt que prévu si bien que le suivi des algues pour le cycle d'automne a été avancé à la fin du mois de novembre (Tableau 2). En raison de la courte durée du cycle (deux mois au lieu des quatre mois prévus) et du fait que la biomasse d'algues observée en novembre n'avait pas d'intérêt commercial, les algues ont été laissées en mer, en accord avec le partenaire. La récolte des algues a eu lieu à la mi-avril et le cycle d'automne est donc devenu un cycle Automne-Printemps (A-P) de 205 jours.

Pour le cycle d'hiver (Cycle 2), le transfert des plantules prévu en décembre a été devancé à la fin du mois de novembre. Six segments de 10 m de ficelle (60 m au total) ont alors été installés sur la filière 2. De plus, la récolte prévue pour le mois d'avril a été reportée à l'été, en accord avec le partenaire et en raison de la bonne croissance des algues constatée lors d'un suivi fait en avril. Le cycle d'hiver est donc devenu un cycle Hiver-Été (H-É) de 237 jours.

Finalement, en raison de la présence de glaces au large de Paspébiac au mois de mars, le transfert en mer pour le cycle de printemps (Cycle 3) qui était prévu en mars a dû être

remis au mois d'avril. Cette fois, 4 segments de 10 m de ficelle de nylon (ensemencée avec des spores) ont été enroulés autour d'une moitié de la filière 1 et 4 segments de 10 m de ficelle de kuralon (ensemencée avec des gamétophytes) ont été transférés sur l'autre moitié de la filière (2 x 40 m pour un total de 80 m). Les algues ont été récoltées au mois de juillet tel que planifié. Le cycle est devenu un cycle Printemps-Été (P-É) de 96 jours.

Tableau 2. Calendrier des opérations de culture selon les trois cycles de production.

Cycle	Transfert en mer	Suivi (nb jrs en mer)	Récolte (nb jrs en mer)
1. Automne-Printemps (A-P)	24 sept. 2008	27 nov. 2008 (64 jours)	17 avril 2009 (205 jours)
2. Hiver-Été (H-É)	27 nov. 2008	17 avril 2009 (141 jours)	22 juillet 2009 (237 jours)
3. Printemps-Été (P-É)	17 avril 2009		22 juillet 2009 (96 jours)

2.5. ÉCHANTILLONNAGE ET MESURE DES ALGUES

Au moment du transfert des plantules en mer, il n'y a pas eu d'échantillonnage des plantules, sauf pour le cycle P-É, où deux échantillons (un sur la ficelle de nylon et un sur la ficelle de kuralon) de 20 plants ont été mesurés pour déterminer la longueur totale des plantules (stipe et fronde ensemble). Pour les cycles A-P et H-É, on a estimé qu'au moment du transfert en mer, la taille des plantules était d'environ 2 et 4 mm respectivement, et ce, à partir d'observations au binoculaire sur 20-50 plants. La densité de plantules au moment du transfert en mer n'a pas été évaluée. Par contre, les observations réalisées au cours des essais précédents montrent que 38-48 jours après l'ensemencement, les densités étaient couramment de l'ordre de 1000 plants/ 5 cm de ficelle. On postule que les densités initiales, au moment du transfert en mer, étaient très élevées et les mêmes pour tous les essais réalisés avec les spores.

À chaque suivi, ainsi qu'à la récolte finale, quatre échantillons, soit quatre sections non-adjacentes de 1 m de corde de filière (sur laquelle a été enroulée la ficelle), sélectionnées aléatoirement sur chaque filière porteuse, étaient prélevés. Sur ces échantillons, toutes les algues étaient récoltées (crampon, stipe et fronde). Le suivi de novembre pour le cycle Automne-Printemps (A-P) fait cependant exception car une seule section de 18 cm, dans ce cas-ci de ficelle et non de corde, a été prélevée et de plus, en raison de la grande densité de relativement petites algues échantillonnées, un sous-échantillon de 50 algues a été mesuré. Pour le cycle Printemps-Été (P-É), deux des quatre échantillons proviennent des cordes de nylon et les deux autres des cordes de kuralon. Une fois collectées, les algues étaient maintenues à 4 °C en chambre froide dans des sacs de plastique scellés jusqu'au moment de leur analyse, pas plus de 24 heures après la récolte.

Au laboratoire, chaque échantillon était égoutté et pesé pour déterminer le poids humide total d'algues par mètre de filière. Ensuite, les algues étaient dénombrées et la longueur du stipe ainsi que la longueur et la largeur de chaque fronde étaient mesurées. L'apparence des algues, ainsi que la quantité relative et la nature des épibiontes étaient également consignées.

2.6. SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Un thermographe (Hobo 2K Temp data logger, Onset computer corporation) a été installé sur la ligne porteuse d'une des filières de juin 2008 à juillet 2009. Par ailleurs, à chacune des visites sur le site de culture (septembre, novembre, avril et juillet), la température et la salinité de l'eau ont été mesurés à différentes profondeurs (0,2, 5, 10, 15 et 20 m) avec un thermosalinomètre de terrain YSI 85-10. La transparence de l'eau a également été évaluée en mesurant la profondeur de disparition d'un disque de Secchi.

2.7. ANALYSE DES DONNÉES

Des statistiques descriptives (moyenne et erreur-type) ont été compilées à chaque suivi et à la récolte pour les variables suivantes : la densité des plants, la biomasse humide, la longueur des frondes, les pourcentages de frondes de plus de 30 cm et de plus de 50 cm, ainsi que l'accroissement net des frondes entre deux suivis ((longueur$_t$ − longueur$_{t-1}$) / nombre de jours). La mesure de l'accroissement net inclut les gains dus à la croissance et les pertes dues à l'érosion. Des statistiques descriptives ont aussi été calculées pour la longueur et la croissance des plus grandes algues de l'échantillon, soit celles du 4^e quartile de la distribution, afin de mieux décrire les algues qui contribuent le plus à la biomasse. Des statistiques descriptives additionnelles (minimum et maximum) ont été réalisées pour la longueur des frondes à chaque suivi et à la récolte pour chaque cycle de culture. Les catégories de taille de frondes supérieures à 30 et à 50 cm ont été retenues en raison de leur valeur commerciale potentielle. Une fronde de 50 cm de longueur est recherchée par le partenaire. De plus, des algues de belle apparence et d'une taille de plus de 30 cm peuvent éventuellement aussi avoir un potentiel commercial, particulièrement au niveau des marchés alimentaires et cosmétiques.

Une analyse de régression a été utilisée pour décrire la relation entre la longueur et la largeur des frondes à la récolte pour les trois cycles de culture. La normalité de la distribution a préalablement été testée avec le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances, avec le test de Fligner-Killen (Steel et Torrie 1980). La transformation de Box-Cox a été utilisée lorsque ces postulats n'étaient pas respectés (Box *et al.* 1978). Par la suite, les droites de régression ont été comparées entre les trois cycles à l'aide d'une analyse de covariance. Afin d'éviter un éventuel biais relié aux différences dans l'étendue des données, seules les données pour les plants dont la longueur de la fronde était ≤ 40 cm ont été conservées pour cette partie de l'analyse.

La comparaison des moyennes de la densité, de la biomasse, de la longueur et de la croissance des frondes au moment de la récolte (pour les trois cycles) a été effectuée à l'aide d'une ANOVA à un facteur (cycle). Le test de Tukey-HSD (« honest significant difference ») a par la suite été utilisé pour effectuer les comparaisons multiples (Steel et Torrie 1980). La normalité de la distribution a été testée avec le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances, avec le test de Levene (Steel et Torrie 1980). Comme pour les analyses de régression, la transformation de Box-Cox a été utilisée lorsque ces postulats n'étaient pas respectés. Ces mêmes variables ont aussi été comparées pour les

les cycles Automne-Printemps au moment de la récolte et Hiver-Été lors du suivi (en avril). L'objectif était de déterminer si le transfert en mer des plants plus tôt à l'automne permettait d'obtenir de meilleurs rendements au printemps. Le test du *t* de Student a été utilisé et la vérification des postulats a été exécutée de la même manière que pour l'ANOVA. Les analyses ont été faites avec le logiciel R.

3. RÉSULTATS

3.1. CYCLE AUTOMNE-PRINTEMPS (A-P)

Lors du premier suivi, le 27 novembre 2008, on a observé que des espaces de ± 6 cm de ficelles avec des algues alternaient avec des sections de ± 6 cm sans algues. Ce phénomène a été attribué au fait que certaines plantules se sont retrouvées coincées contre la ligne maîtresse au lieu d'être orientés vers l'extérieur. La densité a été estimée à 1500 plants/m de corde, en incluant les sections dénudées (Tableau 3). En ne tenant compte que des sections portant des algues, la densité était de 2200 plants/m. Il n'y avait pas de moules ou de hyatelles sur les cordes, donc pas de compétiteurs pour les laminaires. Après 64 jours en mer, les frondes avaient atteint une longueur moyenne de 20,5 mm (Tableau 4). Aucune algue ne dépassait les 30 ou 50 cm (Tableau 5). La Figure 4A présente la distribution des fréquences de taille du seul échantillon prélevé lors du suivi. On a estimé qu'au moment du transfert en mer, les plantules mesuraient environ 2 mm. La croissance nette a donc été estimée à 18,5 mm en 64 jours, soit 0,29 mm/jour (Tableau 6). En ne tenant compte que du dernier quartile de la distribution, la taille moyenne était de 30,0 mm et la croissance de 0,44 mm/jour (Tableaux 4 et 6). Étant donnée la petite taille des algues (Figures 5 A et B), il a été décidé de concert avec le partenaire de laisser ces algues poursuivre leur croissance en mer jusqu'au printemps.

Les algues du cycle A-P ont été récoltées en totalité en avril 2009. À ce moment, elles avaient une apparence saine et étaient dépourvues d'épibiontes (Figure 5 C). La densité moyenne des algues était de 183,0 ± 28,0 plants/m de corde (Tableau 3). La biomasse humide était en moyenne de 255,4 ± 13,0 g/m (Tableau 3). La Figure 4B présente la distribution des fréquences de taille à la récolte pour l'ensemble des échantillons. La longueur moyenne des frondes était de 15,6 ± 2,1 cm. La longueur des frondes pour le dernier quartile était en moyenne de 32,6 ± 3,1 cm (Tableau 4). 12,9 % des plants avaient une fronde ≥ 30 cm de longueur et 1,6 % avaient une fronde ≥ 50 cm (Tableau 5). La croissance nette des frondes a été de 1,0 mm/jour entre novembre 2008 et avril 2009. En considérant seulement le dernier quartile, elle était de 2,1 mm/jour pour cette même période (Tableau 6).

La relation entre la longueur et la largeur des frondes est illustrée à la Figure 6 (données brutes). Bien que la relation semble être linéaire, l'analyse de la régression a révélé un effet quadratique significatif indiquant une diminution de la vitesse d'accroissement de la largeur des frondes par rapport à l'accroissement en longueur (allométrie négative). Pour l'analyse de régression, la transformation racine carrée a dû être utilisée pour améliorer l'homoscédasticité.

Tableau 3. Densité et biomasse humide des plants (moyenne ± erreur type) par mètre de corde de filière pour chaque cycle de culture au moment du suivi et de la récolte. n.d.: non déterminé.

	Densité (plants/m)			Biomasse (g/m)		
	Cycle 1 A-P	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**	**Cycle 1 A-P**	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**
Septembre	n.d.			n.d.		
Novembre	1500,0 ± n.d. n = 1	n.d.		n.d.	n.d.	
Avril	183,0 ± 28,0 n = 4	103,8 ± 6,8 n = 4	n.d.	255,4 ± 13 n = 4	247,8 ± 16,7 n = 4	n.d.
Juillet		77,0 ± 5,8 n = 4	76,7 ± 26,1 n = 4		3354,3 ± 643,7 n = 4	126,0 ± 32,2 n = 4

Tableau 4. Longueur des frondes de l'ensemble des plants (moyenne ± erreur type) et du 4^{e} quartile pour chaque cycle de culture au moment du suivi et de la récolte. n.d.: non déterminé.

	Longueur des frondes (cm)			Longueur des frondes (cm) 4^{e} quartile		
	Cycle 1 A-P	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**	**Cycle 1 A-P**	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**
Septembre	≈ 0,2-0,4 (estimé)			n.d.		
Novembre	2,0 ± n.d. n = 1	≈ 0,2-0,4 (estimé)		3,0 ±n.d. n = 1	n.d.	
Avril	15,6 ± 2,1 n = 4	18,5 ± 1,2 n = 4	0,16 ± 0,005 n = 2	32,6 ± 3,1 n = 4	37,1 ± 1,3 n = 4	0,22 ± 0,007 n = 2
Juillet		54,9 ± 7,9 n = 4	13,5 ± 1,9 n = 4		108,8 ± 11,4 n = 4	29,7 ± 4,1 n = 4

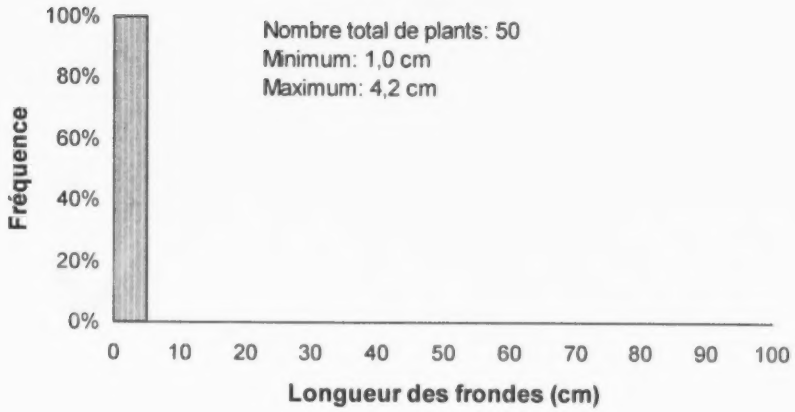
Tableau 5. Pourcentage des plants dont la fronde dépasse 30 cm et 50 cm de longueur (moyenne ± erreur type) pour chaque cycle de culture au moment du suivi et de la récolte. n.d.: non déterminé.

	Frondes dont la longueur dépasse 30 cm (%)			**Frondes dont la longueur dépasse 50 cm (%)**		
	Cycle 1 A-P	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**	**Cycle 1 A-P**	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**
Septembre	0			0		
Novembre	0,0 ± n.d. n = 1	0		0,0 ± n.d. n = 1	0	
Avril	12,9 ± 4,1 n = 4	18,1 ± 2,1 n = 4	0,0 ± 0,0 n = 4	1,6 ± 0,8 n = 4	1,3 ± 0,3 n = 4	0,0 ± 0,0. n = 2
Juillet		65,1 ± 8,6 n = 4	11,6 ± 3,9 n = 4		45,4 ± 8,7 n = 4	1,0 ± 1,0 n = 4

Tableau 6. Accroissement de la longueur des frondes(mm/j) (moyenne ± erreur type) de l'ensemble des plants et des plants du 4^{e} quartile entre chaque échantillonnage pour les trois cycles de culture. n.d. : non déterminé.

	Croissance de la fronde (mm/j)			**Croissance de la fronde (mm/j) – 4^{e} quartile**		
	Cycle 1 A-P	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**	**Cycle 1 A-P**	**Cycle 2 H-É**	**Cycle 3 P-É**
Sept. – nov.	0,29 ± n.d. n = 1			0,44 ± n.d. n = 1		
Nov.- avr.	0,96 ± 0,15 n = 4	1,28 ± 0,08 n = 4		2,10 ± 0,22 n = 4	2,60 ± 0,09 n = 4	
Avr. – juil.		3,79 ± 0,82 n = 4	1,39 ± 0,19 n = 4		7,46 ± 1,18 n = 4	3,07 ± 0,43 n = 4

A)



B)

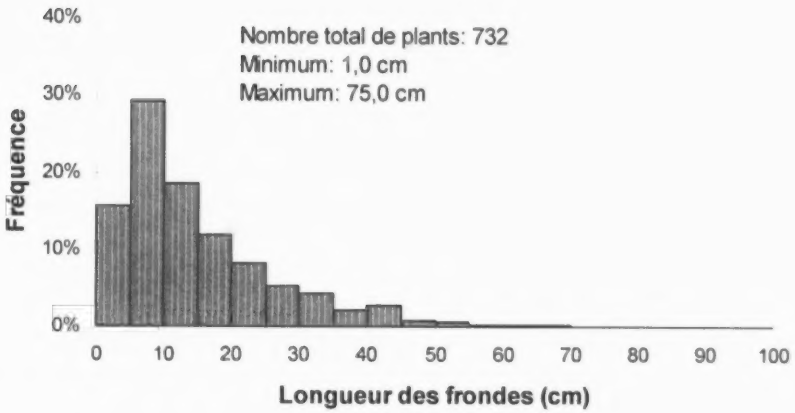
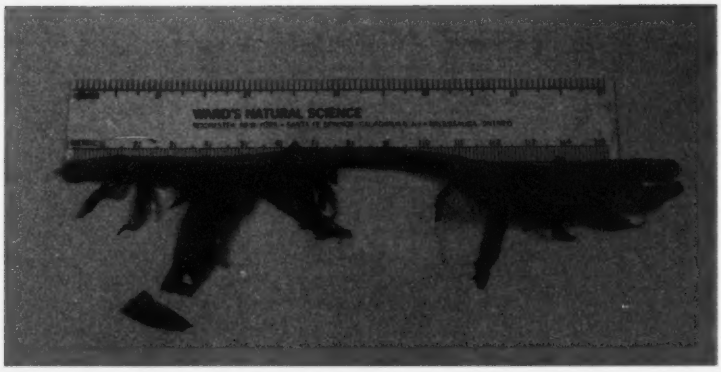


Figure 4. Cycle Automne-Printemps (A-P). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées A) le 27 novembre 2008, après 64 jours de culture en mer et B) le 17 avril 2009, après 205 jours de culture en mer. Les données sont lissées sur trois valeurs.

A)

B)



C)

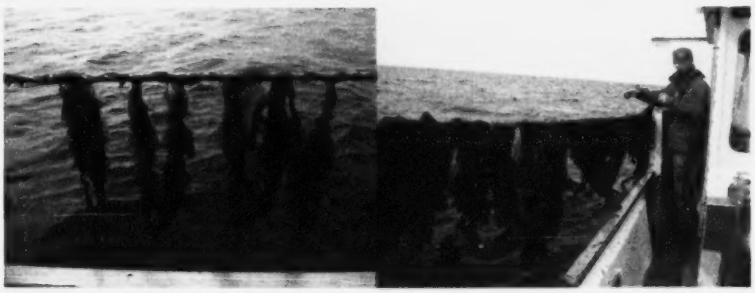


Figure 5. Cycle Automne-Printemps (A-P). Apparence des algues lors du suivi le 27 novembre 2008 A) sur la filière en mer et B) au laboratoire et C) au moment de la récolte le 17 avril 2009.

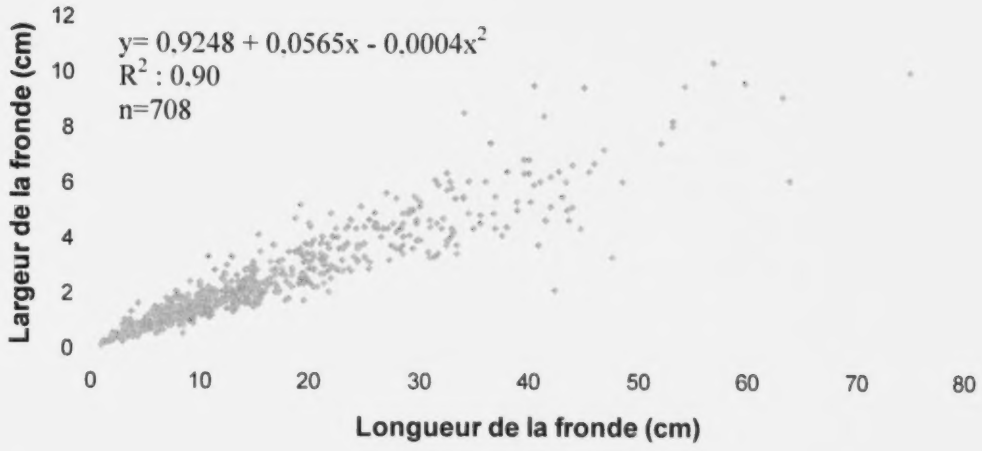


Figure 6. Cycle Automne-Printemps (A-P). Relation entre la longueur et la largeur des frondes (données brutes). L'équation de régression a été calculée sur les données transformées (racine carrée).

3.2. CYCLE HIVER-ÉTÉ (H-É)

Après 141 jours en mer, la densité moyenne était de 103,8 ± 6,8 plants/m de corde et la biomasse humide moyenne était de 247,8 ± 16,7 g/m (Tableau 3). Les frondes avaient atteint une taille moyenne de 18,5 ± 1,2 cm (Tableau 4). La longueur moyenne des frondes du dernier quartile était alors de 37,1 ± 1,3 cm. La proportion de plants dont la fronde dépassait 30 cm de longueur était de 18,1 % et celle dépassant 50 cm était de 1,3 % (Tableau 5). La Figure 7A présente la distribution des fréquences de taille de l'ensemble des algues mesurées lors du suivi. La vitesse moyenne d'accroissement des frondes des algues du cycle H-É a été de 1,28 ± 0,08 mm/jour pour la période de novembre 2008 à avril 2009. La croissance des plants du dernier quartile de la distribution a été de 2,60 ± 0,09 mm/jour (Tableau 6). Au moment du suivi, les algues avaient une belle apparence (Figure 8 A).

En juillet 2009, au moment de la récolte des plants, la densité moyenne était de 77,0 ± 5,8 plants/m et la biomasse humide moyenne était de 3354,3 ± 643,7 g/m (Tableau 3). Les frondes avaient atteint une taille moyenne de 54,9 ± 7,9 cm (Tableau 4 et Figure 7B). La taille moyenne des frondes du dernier quartile était de 108,8 ± 11,4 cm. 65,1 % des plants avaient une fronde ≥ 30 cm et 45,4 %, une fronde ≥ 50 cm (Tableau 5). La vitesse moyenne d'accroissement des frondes a été de 3,8 ± 0,82 mm/jour entre avril et juillet 2009. Pour les plants du dernier quartile, la croissance a été de 7,5 mm/jour pour le même laps de temps (Tableau 6).

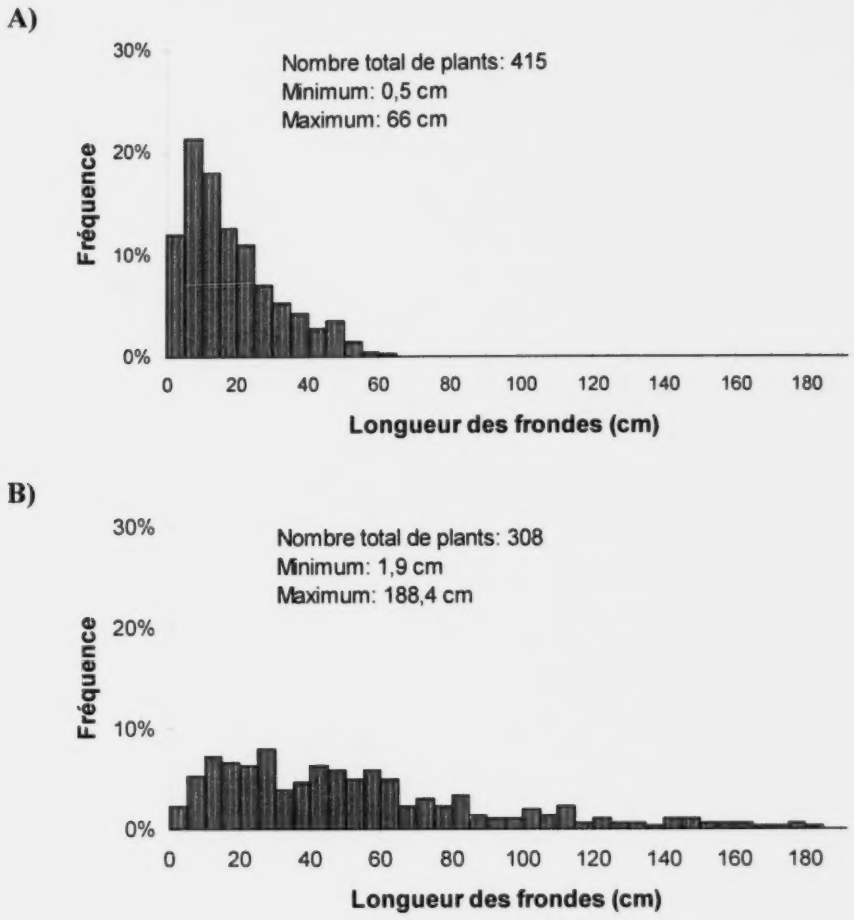


Figure 7. Cycle Hiver-Été (H-É). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées A) le 17 avril 2009, après 141 jours de culture en mer et B) le 22 juillet 2009, après 237 jours de culture en mer. Les données ont été lissées sur trois valeurs.

L'état général des algues au moment de la récolte était excellent (Figure 8B). Les algues présentaient une belle pigmentation brun-vert et avaient une apparence saine, sans aucune décoloration et sans traces de l'activité d'organismes brouteurs tels que le gastéropode *Lacuna vincta*. Les frondes étaient très fines et presque translucides. L'extrémité terminale des frondes ne présentait pas de signe d'érosion ou de dégradation. De petites colonies du bryozoaire *Membranipora membranacea* étaient présentes sur environ 20 % des algues. Sur ces plants, deux à trois petites colonies de bryozoaires qui se localisaient surtout dans le tiers supérieur de la fronde ont été observées. Des petites algues filamenteuses ont aussi été observées sur l'extrémité distale de 10 % des algues.

La Figure 9 présente la relation entre la longueur et la largeur des frondes pour le cycle H-É. La non-linéarité de cette relation y est plus apparente que pour le cycle A-P, probablement en raison de l'étendue plus grande des données, le cycle de culture H-É ayant duré plus longtemps que le cycle A-P.

A)

B)

Figure 8. Cycle Hiver-Été (H-É). Apparence des algues A) au moment du suivi le 17 avril 2009 et B) au moment de la récolte le 22 juillet 2009.

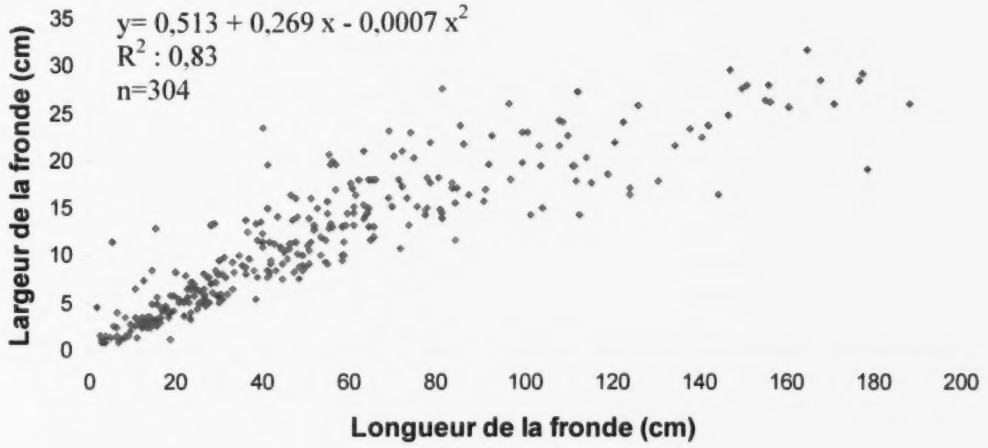


Figure 9. Cycle Hiver-Été (H-É). Relation entre la longueur et la largeur des frondes (données brutes). L'équation de régression a été calculée sur les données brutes.

3.3. CYCLE PRINTEMPS-ÉTÉ (P-É)

En juillet 2009, au moment de la récolte, la densité moyenne des plants était alors de 76,7 ± 26,1 plants/m et la biomasse humide moyenne était de 126,0 ± 32,2 g/m (Tableau 3). Ces données regroupent les données provenant des ficelles de nylon et de kuralon. Après 96 jours, la taille moyenne des frondes (types de ficelles regroupés) était de 13,5 ± 1,9 cm (Tableau 4). Les algues du dernier quartile avaient atteint une taille moyenne de 29,7 ± 4,1 cm. 11,6 % des plants avaient une fronde ≥ 30 cm et 1,0 %, une fronde ≥ 50 cm (Tableau 5). La distribution des fréquences de taille observée à la récolte est illustrée à la Figure 10. La vitesse moyenne d'accroissement des frondes a été de 1,4 mm/jour entre avril 2009 et juillet 2009. En ne considérant que le dernier quartile de taille, la vitesse d'accroissement a été de 3,1 mm/jour durant la même période (Tableau 6). Lors de la récolte, l'état des plants du cycle P-É était semblable à celui du cycle H-É : elles présentaient une belle pigmentation sans jaunissement et sans traces de broutage. Les algues étaient lisses, translucides, et une très faible proportion d'entre elles portaient des épibiontes (Figure 11).

Comme pour les cycles précédents, la relation entre la longueur et la largeur des frondes n'est pas totalement linéaire. Elle montre un léger (mais significatif) effet quadratique (Figure 12). La transformation racine carrée a été utilisée pour améliorer l'homogénéité des variances lors de l'analyse de régression.

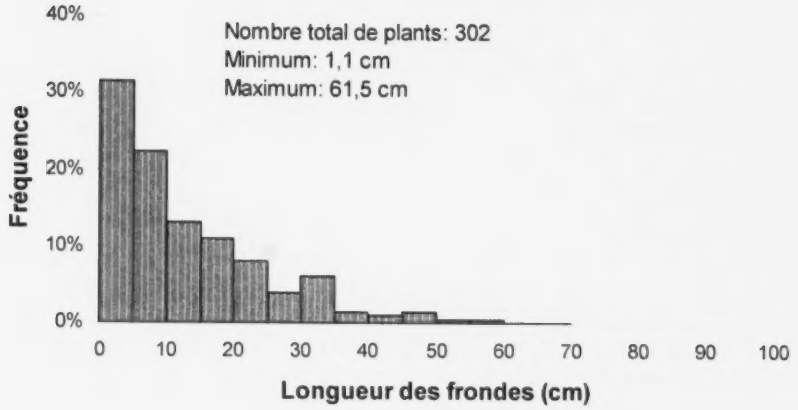


Figure 10. Cycle Printemps-Été (P-É). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées le 22 juillet 2009, après 96 jours de culture en mer (ficelles de nylon et kuralon regroupées).

Figure 11. Cycle Printemps-Été (P-É). Apparence des algues au moment de la récolte le 22 juillet 2009.

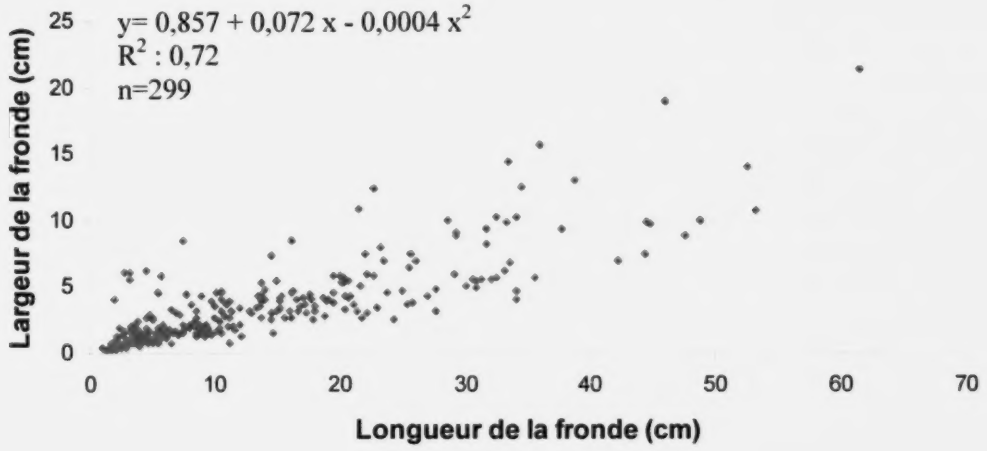


Figure 12. Cycle Printemps-Été (P-É). Relation entre la longueur et la largeur des frondes (données brutes). L'équation de régression a été calculée sur les données transformées (racine carrée).

3.3.1. Comparaison des ficelles nylon-kuralon

Pour le cycle P-É, une partie de la variabilité entre les échantillons peut être attribuée au fait que deux types de ficelles, des ficelles de nylon et de kuralon, ont été utilisées et ensemencées avec des spores et des gamétophytes respectivement.

Lors du transfert en mer, les plantules sur les ficelles de nylon étaient en moyenne légèrement plus petites que celles sur les ficelles de kuralon (1,57 et 1,67 mm respectivement) (Figure 13A). À la récolte, les plants ensemencés initialement sur les ficelles de kuralon avaient une taille moyenne (16,6 ± 0,8 cm) plus élevée que les plants ensemencés sur les ficelles de nylon (10,4 ± 1,1 cm) (Figure 13B). La taille moyenne pour le dernier quartile différait également : elle était de 22,7 ± 1,6 cm pour la ficelle de nylon et de 36,7 ± 0,9 cm pour la ficelle de kuralon.

La Figure 14 présente la distribution des fréquences de taille à la récolte pour les deux types de ficelles. La distribution est légèrement plus étendue pour les ficelles de kuralon que pour celles de nylon, mais la classe modale y est la même (0-5 cm) (Figures 14A et B). La croissance moyenne des frondes sur les ficelles de nylon était de 1,1 mm/jour alors qu'elle était de 1,75 mm/jour sur les ficelles de kuralon.

Au moment de la récolte, la densité moyenne des plants était de 53 ± 19 plants/m sur la ficelle de kuralon et de 98 ± 37 plants/m sur la ficelle de nylon (Figure 15A). Par contre, la biomasse lors de la récolte était de 118,4 ± 63 g/m pour les ficelles de nylon et de 249,7 ± 108,5 g/m pour la ficelle de kuralon (Figure 15B). Il est important de mentionner que ces tendances n'ont été évaluées qu'à partir de seulement 2 réplicats pour chaque type de ficelle. Elles n'ont pu être testées statistiquement et doivent être interprétées avec réserve.

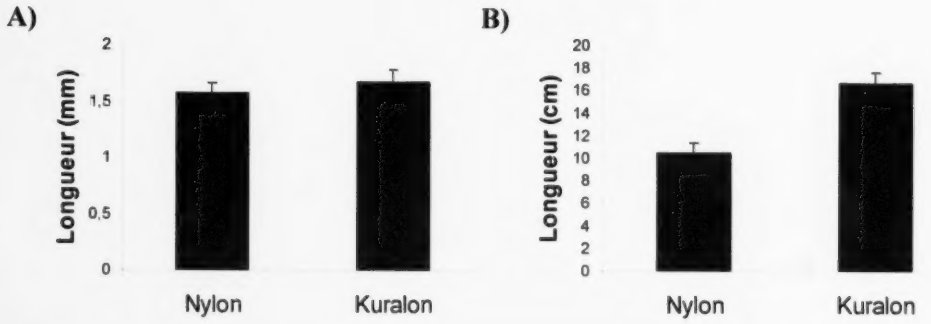
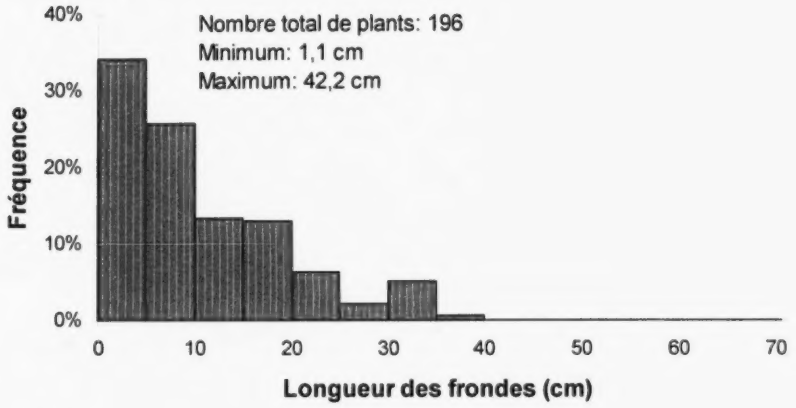


Figure 13. Cycle Printemps-Été (P-É). Comparaison des ficelles de nylon et de kuralon A) longueur initiale des plantules, B) longueur des frondes à la récolte.

A)



B)

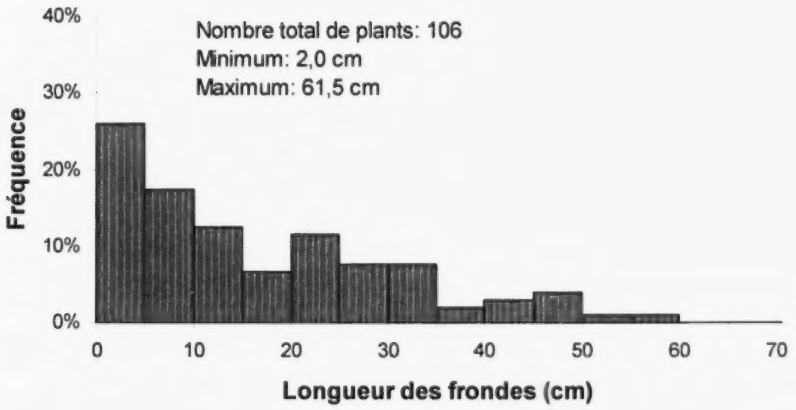


Figure 14. Cycle Printemps-Été (P-É). Distribution des fréquences de taille (classes de 5 cm) des laminaires échantillonnées le 22 juillet 2009, après 96 jours de culture en mer, A) provenant de ficelles de nylon ensemencées avec des spores provenant de sores fraîches et B) provenant de ficelles de kuralon ensemencées avec une suspension de gamétophytes.

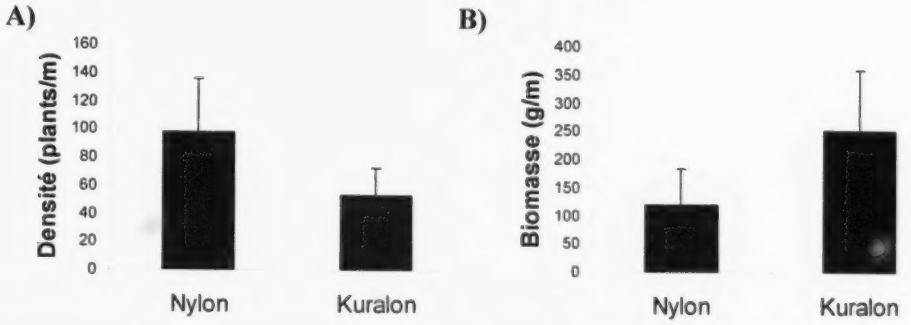


Figure 15. Cycle Printemps-Été (P-É). Comparaison des ficelles de nylon et de kuralon A) densité des plants à la récolte et B) biomasse d'algues à la récolte.

3.4. COMPARAISON DES CYCLES DE CULTURE

En avril 2009, au moment de la récolte des plants du cycle A-P et du suivi du cycle H-É, la densité des plants du cycle A-P (en mer depuis 205 jours) était plus élevée que celle des plants du cycle H-É (en mer depuis 141 jours), mais cette différence n'était pas significative (t = 2,73, ddl = 6, p = 0,06). On postule que les densités initiales étaient similaires. La biomasse humide sur les filières pour ces 2 cycles ne différait pas non plus significativement (t = 0,36, ddl = 6, p = 0,73). La longueur moyenne des frondes était supérieure pour les algues du cycle H-É et ce, malgré le fait que ces dernières aient passé 64 jours de moins en mer. Cette différence n'était cependant pas significative (t = -1,18, ddl = 6, p = 0,29). La même tendance a été observée pour les plants du 4^e quartile de la distribution : aucune différence significative n'a été décelée entre les plants des 2 cycles (t = -1,38, ddl = 6, p = 0,24). Finalement, toujours en avril 2009, l'accroissement journalier des frondes ne différait pas non plus de manière significative entre les algues des deux cycles (t = -0,09, ddl = 6, p = 0,94).

Lors de la récolte finale, la densité des plants par mètre de corde n'était pas égale pour les trois cycles (F = 8,87, ddl = 2,9, p <0,01); elle était plus de deux fois plus élevée pour le cycle A-P que pour H-É et P-É (Figure 16). La biomasse humide n'était pas non plus équivalente entre les trois cycles (F = 40,95, ddl = 2,9, p <0,01), celle du cycle H-É était significativement plus grande que celles des cycles A-P et P-É (Figure 17).

La longueur moyenne des frondes n'était pas la même pour tous les cycles de culture (F = 31,89, ddl = 2,9, p <0,01). Comme dans le cas de la biomasse, une valeur significativement plus grande a été observée pour le cycle H-É (Figure 18). Si l'on compare l'accroissement des frondes lors des trois cycles de culture, on remarque que celui-ci diffère également entre les cycles (F = 11,38, ddl = 2,9, p <0,01). Le cycle H-É est celui où l'accroissement journalier était le plus élevé, suivi du cycle P-É et, finalement, du cycle A-P. Cependant, le cycle H-É est le seul à différer significativement des autres (Figure 19).

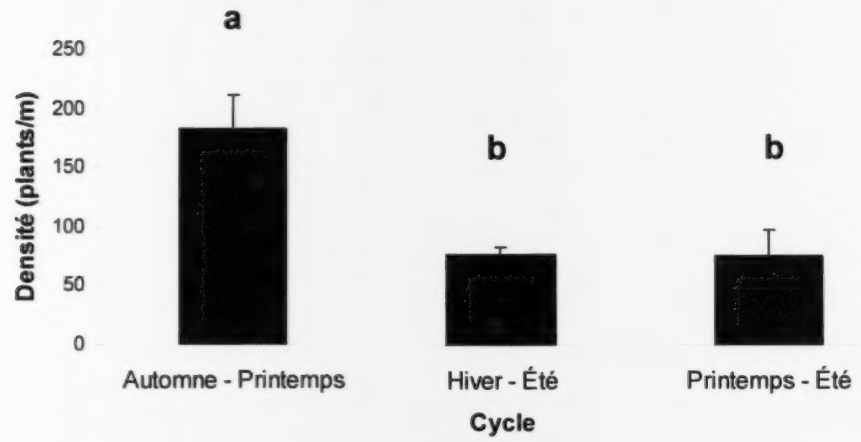


Figure 16. Densité moyenne (+ erreur-type) des plants sur les filières lors de la récolte pour les trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement.

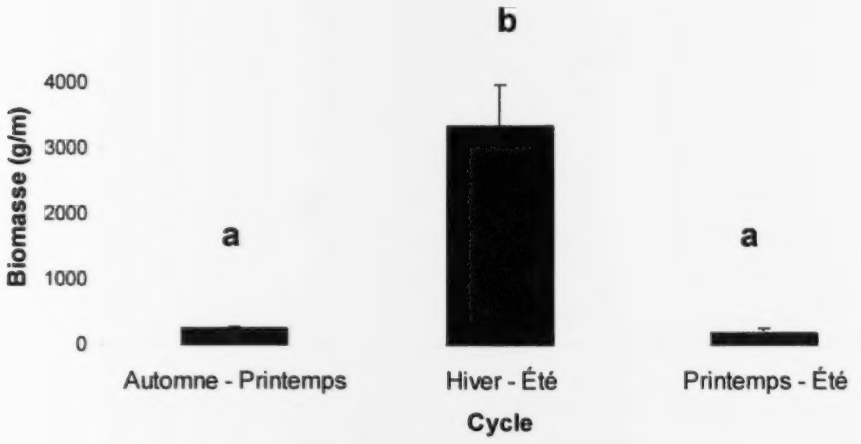


Figure 17. Biomasse humide moyenne (+ erreur-type) des plants sur les filières lors de la récolte pour les trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement. L'analyse de variance ainsi que les comparaisons multiples ont été effectuées avec les données transformées (transformation logarithmique) afin d'améliorer l'homoscédasticité.

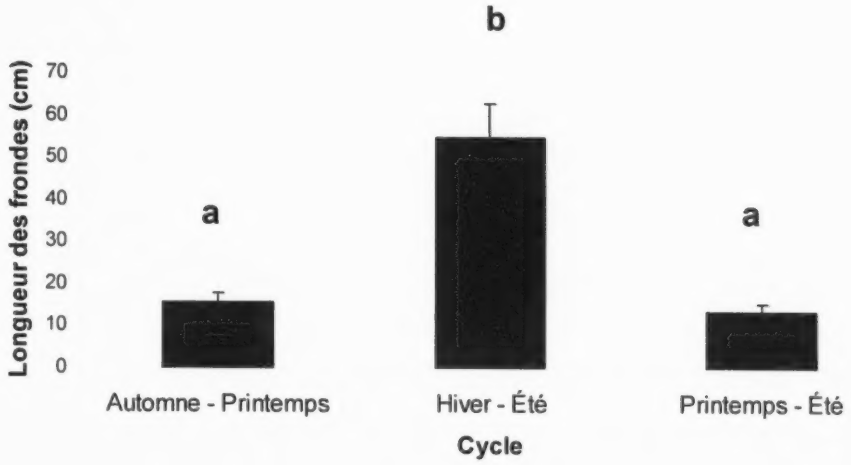


Figure 18. Longueur moyenne (+ erreur-type) des frondes des algues lors de la récolte pour les trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement. L'analyse de variance ainsi que les comparaisons multiples ont été effectuées avec les données transformées (transformation logarithmique) afin d'améliorer la normalité de la distribution.

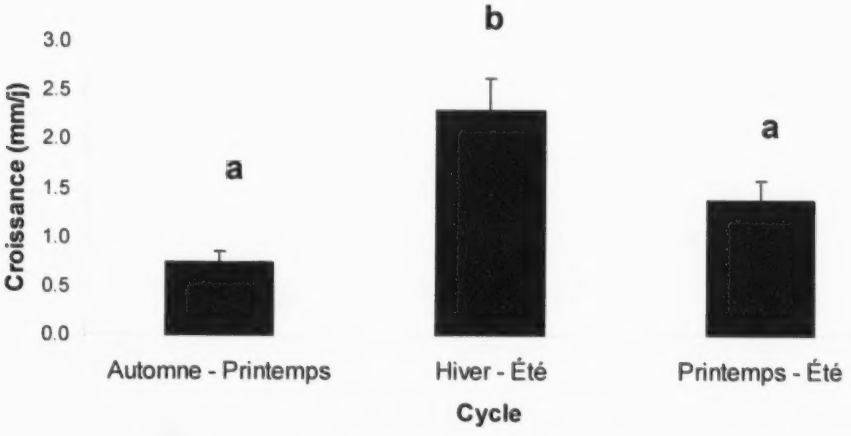


Figure 19. Accroissement moyen en mm / jour (+ erreur-type) des frondes pour l'entière durée de la mise en mer pour chacun des trois cycles de culture (données brutes). Les moyennes des cycles portant la même lettre ne diffèrent pas significativement.

La relation entre la longueur et la largeur des frondes n'était pas la même pour les trois cycles de culture (Tableau 7). L'analyse de covariance a montré que l'interaction entre la longueur des frondes et le cycle de culture était significative, ce qui indique que la pente de la relation entre longueur et largeur des frondes n'est pas homogène entre les trois

cycles. L'analyse des contrastes a révélé que seule la pente du cycle Hiver-Été (H-É) différait significativement des autres ($p < 0,01$) et elle était plus élevée. Les algues du cycle H-É avaient des frondes plus larges proportionnellement à leur longueur. Pour l'analyse de covariance, la transformation logarithmique a été utilisée pour améliorer l'homogénéité des variances. L'analyse de covariance a été réalisée sur une relation linéaire entre la longueur et la largeur des frondes.

Tableau 7. Résultats de l'analyse de covariance (longueur des frondes et cycle de culture) sur la largeur des frondes.

	Degrés de liberté	**Valeur de *F***	**Valeur de *p***
Longueur	1	3215,48	< 0,01
Cycle	2	129,50	< 0,01
Longueur*Cycle	2	12,01	< 0,01
Erreur	1100		

3.5. SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Au niveau des filières, à 8 m sous la surface, la température maximale (20,2 °C) a été enregistrée le 1er août 2008 tandis que la température la plus basse (-1,45 °C) a été enregistrée le 16 mars 2009 (Figure 20). Des températures supérieures à 10 °C ont été observées entre la mi-juin et le début octobre en 2008 et à partir de la mi-juin en 2009. La température de l'eau s'est maintenue en dessous de 0 °C entre le 22 décembre 2008 et le 16 avril 2009. Entre juin et octobre, on a observé des écarts brutaux de température. Par exemple, la température de l'eau est passée de 17 °C le 24 juillet 2008 à 3 °C le 28 juillet 2008. Le nombre de jours où la température était supérieure à 10°C (sans dépasser 20°C) n'a pas été le même pour les trois cycles, avec 31 jours pour les cycles H-É et P-É et seulement 11 jours pour le cycle A-H.

Durant la période de culture en mer, la salinité de l'eau a varié entre 24 et 28 en surface et entre 26 et 29 près du fond (Tableau 8). Les plus basses valeurs de salinité ont été observées en juillet 2009, ce qui pourrait être lié aux forte pluies la journée de l'échantillonnage.

La profondeur de disparition du disque de Secchi, qui est une estimation de la transparence de l'eau, a varié entre 3 et 7 m (Tableau 9). C'est en novembre 2008 que l'eau était la plus turbide tandis que le maximum de transparence a été observé en septembre 2008.

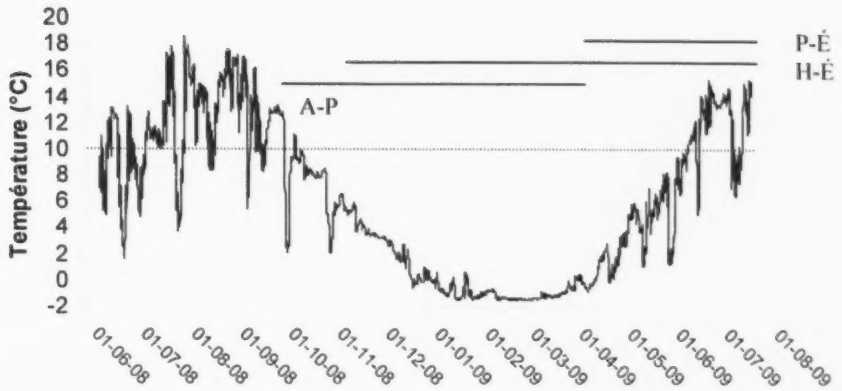


Figure 20. Variations de la température de l'eau à 8 mètres de profondeur entre juin 2008 et juillet 2009 sur le site de mariculture de Paspébiac. Les lignes continues représentent les périodes des trois cycles de production A-P (Automne-Printemps), H-É (Hiver-Été) et P-É (Printemps-Été).

Tableau 8. Variations de la salinité de l'eau à différentes profondeurs sur le site de mariculture de Paspébiac entre septembre 2008 et juillet 2009.

Profondeur de mesure (m):	**0,2**	**5**	**10**	**15**	**20**
24 septembre 2008	27,3	27,3	27,3	28,1	28,8
27 novembre 2008	28,4	28,8	29,0	29,2	29,2
17 avril 2009	26,9	28,3	28,6	28,9	29,1
22 juillet 2009	24,0	24,6	24,9	25,3	25,7

Tableau 9. Profondeur de disparition du disque de Secchi sur le site de mariculture de Paspébiac entre septembre 2008 et juillet 2009.

Date des mesures	**Profondeur de Secchi (m)**
24 septembre 2008	7,2
27 novembre 2008	3,5
17 avril 2009	6,0
22 juillet 2009	6,0

4. DISCUSSION

4.1. CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES SUR LE SITE DE CULTURE

A l'exception de trois mois pendant la période d'hiver (entre janvier et avril) la température sur le site de culture se maintient le plus souvent dans la gamme de valeurs favorables au développement de *S. longicruris*, soit entre 0 et 20 °C (voir Tableau 20 dans Gendron et Tamigneaux 2008). La température optimale pour la croissance de cette espèce se situe autour de 10 °C (Bolton et Lüning 1982). En 2009, la température de l'eau est restée ≤ 0°C de janvier jusqu'à la mi-avril. Malgré cela, il y a quand même eu un faible accroissement net des frondes en hiver ($\approx$ 1 mm/jour; Tableau 6), ce qui est souvent observé chez cette espèce dont la distribution s'étend dans la zone subarctique (Chapman 1987). C'est au cours de la période d'avril à juillet que le nombre de jours où la température était supérieure à 10°C (sans dépasser 20°C) a été le plus grand, favorisant les cycles Hiver-Été (H-É) et Printemps-Été (P-É). C'est au cours de cette période que l'accroissement des frondes a été le plus élevé (jusqu'à 8 mm/jour; Tableau 6). La salinité de l'eau s'est généralement maintenue dans le préférendum de l'espèce, soit entre 25 et 32 à l'exception du mois de juillet 2009 où elle a atteint des valeurs ≤ 24, considérées comme sub-optimales pour *S. longicruris*. On a aussi constaté que l'exposition relative du site empêche le dépôt de sédiment sur les cordes et conserve les algues propres.

4.2. FILIÈRE ET MÉTHODE DE TRAVAIL

Le modèle de filière à amarrages amortisseurs en V utilisé ici pour la première fois s'est montré bien adapté aux conditions du site (Annexe 1). Une fois ajustées, les lignes maîtresses sont restées bien tendues à la profondeur voulue. Les filières sont restées en place et ont conservé leur forme malgré le passage des tempêtes et les glaces dérivantes en hiver. Ce type de filière est facile à remonter en surface et à manipuler avec un petit bateau tel que celui utilisé au cours des essais.

Cependant, la manipulation de la filière submergée a posé certaines difficultés. Tout d'abord, l'approche mise en œuvre *a priori* était celle des mytiliculteurs. Comme les algues étaient cultivées directement sur la ligne maîtresse de la filière, il devenait difficile de se déplacer sur la filière en utilisant les deux poulies étoilées sans écraser les plantes. Il a donc fallu improviser une autre façon de travailler en utilisant la poulie à l'extrémité du bras de la grue hydraulique (voir Annexe 3). Dans les pays où se pratique l'algoculture, les filières restent constamment en surface, ce qui facilite leur manipulation. En France et en Irlande par exemple, la ligne maîtresse qui flotte en surface peut être détachée de la ligne d'amarrage et insérée à l'intérieur du tube de PVC, ce qui permet à la ficelle avec les plantules de se dérouler toute seule au fur et à mesure que le bateau s'éloigne de la bouée de coin (Arbonna et Molla 2006). Comme la présence de glace dérivante sur les côtes de la Gaspésie nous oblige à utiliser des filières submergées, il faudra développer des méthodes de travail originales. Ainsi il serait intéressant de tester une filière avec deux lignes maîtresses superposées. La ligne supérieure servirait au déplacement du bateau avec les poulies étoilées tandis que la ligne inférieure servirait de support aux algues (voir Annexe 4).

Ensuite, l'enroulement des ficelles portant les plantules a été réalisé à la main, et il a été difficile de maintenir un écartement régulier et reproductible entre chaque spire. Ceci a pu contribuer à faire varier la densité initiale d'algues par mètre de filière. Il n'est pas possible de déterminer ici dans quelle mesure les différences entre les longueurs de ficelle enroulées (entre 60 et 80 m) ont pu affecter les rendements observés. On présume toutefois qu'elles ne peuvent à elles seules expliquer les différences observées entre les cycles. Un système d'enrouleur (semi-mécanique) permettrait de faciliter cette opération et de standardiser la longueur de ficelle installée sur chaque filière.

Finalement, lors de l'enroulement manuel de la ficelle avec les plantules autour de la ligne maîtresse, on a observé à l'occasion, que la torsion involontaire de la ficelle faisait en sorte qu'à intervalle régulier, les plantules se retrouvaient coincées contre la ligne maîtresse au lieu d'être orientés vers l'extérieur. En effet, pendant l'étape de l'écloserie, la ficelle est enroulée sur un support cylindrique. Ainsi, les spores se fixent et les plantules ne se développent que sur la partie externe de la ficelle. Lors des suivis en mer, on a effectivement constaté dans certains cas que, sur la ligne de culture, des sections pleines d'algues alternaient avec des sections pauvres en algues. On peut faire l'hypothèse que cette disposition alternée est susceptible de réduire les rendements. À nouveau, un système d'enrouleur (semi-) mécanique permettrait peut-être de résoudre ce problème.

4.3. SALISSURES BIOLOGIQUES ET PRÉDATION

Les essais de 2006 et 2007 (Gendron *et al.* 2007, Gendron et Tamigneaux 2008), de même que des essais divers réalisés en 2008 (É. Tamigneaux, observations personnelles) ont révélé que la prolifération des salissures biologiques est particulièrement rapide durant les mois d'août et de septembre. Il semble également que la culture des algues à une profondeur supérieure à 10 m tend à favoriser le développement d'organismes tels que les hyatelles et les hydrozoaires par rapport à celui des algues, la croissance de ces dernières étant ralentie par le manque de lumière. Par contre, lors des trois cycles de culture, sur les filières maintenues à 7-8 m, nous n'avons pas observé d'autres biosalissures que quelques algues filamenteuses sur les cordes de culture et aucun prédateur herbivore. Par ailleurs, en 2009, les colonies du bryozoaire *M. membranacea* n'ont commencé à apparaître que vers le mois de juillet sur les frondes des algues cultivées, tout comme cela avait déjà été le cas lors des essais précédents (Gendron *et al.* 2007, Gendron et Tamigneaux 2008). Ces observations confirment donc qu'il faut interrompre les cultures entre la mi-juillet et la fin septembre pour éviter l'incidence des biosalissures, des épibiontes et des herbivores.

4.4. COMPARAISON DES RENDEMENTS ASSOCIÉS AUX TROIS CYCLES DE CULTURE

Dans la présente étude, les plantules ont toujours été transférées en mer à une taille moyenne inférieure à 5 mm. Il est généralement admis que les plantules de laminaires doivent être transférées en mer avant d'atteindre la taille de 5 mm (Kaas et Pérez 1990, Pérez *et al.* 1990, 1992). Cette approche permet d'éviter les coûts reliés à une culture prolongée en bassin, de préserver les plants contre les risques de dégradation observés dans les bassins, et une fois transférés en mer, leur petite taille les protège contre la force des courants. Toutefois, la petite taille au transfert signifie que le séjour en mer devra être

plus long avant d'atteindre les tailles (frondes de 30 et 50 cm) et biomasses visées, comparativement à une culture où il y a une étape de croissance en bassin avant le transfert en mer.

Il semble bien, à la lumière des résultats obtenus qu'il ne soit pas possible d'envisager trois récoltes annuelles. Il n'a pas été possible d'obtenir de très gros rendements avec des cycles de culture courts, d'environ 2-4 mois. Le cycle Printemps-Été (P-É), d'une durée de 3 mois et demi n'a pas donné de rendements satisfaisants. En juillet, lors de la récolte, seulement 11,6 % des frondes avaient plus de 30 cm de longueur et tout juste 1 % avaient une taille dépassant les 50 cm (Tableau 5). La densité de plants sur la corde de culture était élevée, mais la biomasse récoltable était faible, inférieure à 200 g/m (Tableau 3). Il n'est pas envisageable non plus de prolonger ce cycle en juillet en raison des dangers de colonisation par les bryozoaires. Par ailleurs, il est difficile de penser démarrer les cultures plus tôt au printemps en raison des contraintes liées à la présence de glaces qui peuvent retarder l'ouverture d'un havre. La mise à l'eau de plantules à la fin de septembre, pour une récolte en hiver (fin novembre) n'a pas non plus donné de rendements satisfaisants. Toutefois, le démarrage de cultures à la fin du mois de septembre semble efficace pour éviter la compétition avec les biosalissures. De plus, entre septembre et novembre, les algues ont pu conserver une densité assez élevée (Tableau 3) malgré le passage de plusieurs tempêtes. En deux mois, la taille moyenne des algues est passée de 2 mm à 2 cm (Tableau 4).

En ce qui concerne les cycles plus longs (6-8 mois), le cycle Automne-Printemps (A-P) démarré en septembre et s'étendant jusqu'en avril, pour une durée totale de 6 mois et demi n'a pas permis d'obtenir des résultats satisfaisants. Seulement 13 % des frondes avaient plus de 30 cm de longueur et 1 % avaient une longueur de plus de 50 cm, ce qui demeure insuffisant pour la commercialisation, du moins telle que planifiée pour l'instant. À ce moment, la densité était assez élevée (183 plants/m), mais en raison de la petite taille des frondes, la biomasse récoltable ne dépassait pas 300 g/m de corde (Tableau 3).

Toutefois, le cycle Hiver-été (H-É) démarré en novembre et prolongé jusqu'en juillet, pour une durée totale de près de huit mois, a permis d'obtenir de bons résultats en termes de longueur des frondes et de biomasse. Tout d'abord, durant la première phase du cycle, les plants ont atteint une taille moyenne de 18,3 cm (37,1 cm pour le dernier quartile) et ce, malgré les basses températures atteintes de janvier à avril. Toutefois, à ce moment, seulement 18,1 % des frondes avaient plus de 30 cm de longueur, et 1,3 % avaient dépassé le seuil des 50 cm (Tableau 5). La densité était assez élevée, plus de 100 plants/m, mais la biomasse récoltable ne dépassait pas 300 g/m (tableau 3). Ensuite, la prolongation de la culture jusqu'en juillet, ajoutant ainsi trois mois de croissance, a permis l'atteinte de rendements présentant un potentiel commercial. C'est d'ailleurs entre avril et juillet que la croissance a été la plus rapide. Au moment de la récolte, plus de la moitié des plants, 65,1 %, avaient une longueur de plus de 30 cm et 45,4 %, plus de 50 cm (Tableau 4). Ceci s'est traduit par une biomasse moyenne de plus de 3 000 g/m (minimum: 1,9 kg/m et maximum 4,5 kg/m) constituée d'algues de très belle apparence. De plus, les algues de ce cycle étaient celles qui avaient la largeur la plus élevée par rapport à leur longueur, ce qui peut favoriser la production d'une biomasse élevée par rapport au nombre de plants.

Les résultats de l'étude démontrent la pertinence d'installer les algues sur le site à la fin de l'automne pour mieux profiter de l'accélération de croissance du printemps. Il semble aussi que le transfert en mer puisse se faire à n'importe quel temps entre septembre et novembre. En effet, à la mi-avril, les plants des cycles démarrés en septembre (A-P) et en novembre (H-É) ne montraient pas de différences significatives que ce soit au niveau de la biomasse, de la densité ou de la taille des frondes, bien que les plants du cycle Automne-Printemps aient eu 2 mois de croissance en mer de plus. Les résultats montrent également la pertinence de retirer les algues en juillet. Des colonies de bryozoaires encroûtants ont en effet commencé à devenir visibles sur l'extrémité des frondes en juillet. On peut présumer que la poursuite des cultures au-delà de cette période se traduirait par une baisse dans la qualité des algues et peut-être même par des pertes comme cela a été le cas lors des précédents essais sur ce site (Gendron *et al.* 2007, Gendron et Tamigneaux 2008).

Le cycle de culture Hiver-Été, de novembre à juillet, s'est soldé par des rendements supérieurs, en termes de qualité, de taille et de biomasse, à ce qui avait été obtenu dans les essais de 2006 et 2007 qui s'échelonnaient d'avril-mai à octobre-novembre. Dans les essais réalisés en 2006, après 6 mois de croissance, la biomasse récoltée était en moyenne de 1,7 kg/m (Tableau 10) et constituée de frondes courtes ayant une longueur moyenne d'environ 20 à 25 cm (Gendron *et al.* 2007). De plus, une forte proportion des plants avaient des frondes brisées ou totalement manquantes en raison de leur colonisation par *M. membranacea.* En 2007, malgré le fait qu'ils aient débuté plus tôt en avril, et avec des plants plus grands (15-20 cm), les essais sur les sites de Grande-Rivière et Paspébiac se sont traduits, à la fin du mois de novembre, par des rendements à la récolte inférieurs à 2 kg/m. Les algues très dégradées avaient une longueur moyenne d'environ 20 cm et étaient couvertes de colonies de bryozoaires (Gendron and Tamigneaux 2008). Cependant, au cours de ces essais, la biomasse sur les filières a culminé en juillet et août et si la récolte avait eu lieu à ce moment, des rendements d'environ 5-6 kg auraient pu être obtenus. On avait par ailleurs présumé que les rendements auraient pu être encore plus élevés si la technique d'enroulement des ficelles avait été utilisée, soit jusqu'à 15-18 kg/m de corde de filière. Or, les essais de 2008-2009 n'auront pas permis, encore, d'atteindre de tels rendements.

Les rendements de culture obtenus en 2009 se situent dans le bas de la fourchette des valeurs généralement rapportées dans la littérature pour la culture des laminaires (4 – 45 kg/m, Tableau 10). Il est vrai que les frondes des algues cultivées à Paspébiac étaient peu épaisses, ce qui a probablement contribué à réduire leur biomasse. Ce n'est pas une densité trop faible causée par une perte excessive de plants qui est en cause puisqu'en juillet 2009, il y avait environ 77 plants par mètre de corde (cycles Hiver-Été et Printemps-Été) (Tableau 3). Dans les cultures de *Laminaria digitata* sur filière en Bretagne (France), la densité est de 50-60 plants/m au moment de la récolte pour des rendements de 10-13 kg/m (Anonyme 1997) tandis qu'en Espagne, la densité de *Laminaria saccharina* cultivée sur filière est de 25 plants/m pour des rendements de 6 kg/m au moment de la récolte (Peteiro *et al.*, 2006). Il est possible par contre que la densité de culture ait été trop élevée et que cela ait nui à la croissance des laminaires comme cela a déjà été montré pour *S. longicruris* par Gendron et Tamigneaux (2008). En Asie, un ou deux éclaircissements sont couramment pratiqués sur les filières de culture des laminaires pour ne laisser qu'un plant aux 10 cm ou des groupes de 4-5 plants espacés de 30 cm. (Anonyme 1990, Pérez *et al.* 1992). Pérez *et al.* (1990) indiquent aussi

que pour la culture de *U. pinnatifida* en France, une réduction volontaire de la densité de 30 à 10 plants par mètre permet d'obtenir en 4 à 5 mois des plants qui atteignent 3 m de longueur au lieu de 1,5 m. Il conviendrait de vérifier si une réduction de la densité permet d'augmenter le rendement des cultures de *S. longicruris* à Paspébiac.

Par ailleurs, dans les pays qui pratiquent l'algoculture, les filières de laminaires sont maintenues près de la surface pour bénéficier de la meilleure intensité lumineuse et de températures plus favorables à leur croissance. Dans le présent projet, le maintien des filières à 7-8 m a sans doute réduit les vitesses d'accroissement des plantes et retardé le début de l'accélération de croissance printanière. Les observations de Gendron (1989) sur la croissance des laminaires dans la baie des Chaleurs ont en effet montré que la croissance des frondes était légèrement plus faible à 7 m qu'à 4 m de profondeur. Il pourrait par conséquent être avantageux d'ajuster les filières pour remonter les cultures plus près de la surface entre avril et juillet et donner ainsi aux algues un meilleur accès à la lumière.

4.5. QUALITÉ DES ALGUES ASSOCIÉE AUX TROIS CYCLES DE CULTURE

Lors des trois cycles de culture, les laminaires ont montré une belle apparence : pigmentation vert-brun, frondes intactes, propres et fines. Ceci était particulièrement remarquable lors du suivi du 17 avril 2009 alors que les frondes ayant passé l'hiver en mer étaient peu épaisses. À aucun moment il n'y a eu de développement de sores sur les algues cultivées en mer. Ces laminaires devraient donc pouvoir se prêter facilement à des usages alimentaires.

Contrairement à ce qui a été observé en 2007 (Gendron et Tamigneaux 2008), dans la présente étude, les crampons des algues étaient fermement attachés directement sur la ligne maîtresse de la filière (polypropylène ¾ pouce). Il apparaît par conséquent que la stratégie qui consiste à enrouler la ficelle portant les plantules en spirale autour de la ligne maîtresse améliore l'adhésion des algues à la structure de culture.

4.6. AMÉLIORATION DES MÉTHODES DE PRÉCULTURE EN ÉCLOSERIE

Le projet a également été l'occasion de mettre à l'épreuve des stratégies alternatives qui viennent compléter les techniques de culture à la disposition des algoculteurs. Ainsi, en hiver, au printemps et en été, il est difficile de trouver des plants géniteurs porteurs de sores mûres pour ensemencer les ficelles de culture puisque, sur la côte sud de la Gaspésie, la période de reproduction de *S. longicruris* a essentiellement lieu à la fin de l'été et au début de l'automne (août-octobre) (É. Tamigneaux, observation personnelle). En 2007, une méthode de maturation artificielle de frondes immatures dans des bassins à photopériode contrôlée avait été adaptée avec succès à *S. longicruris* (Leblanc et Tamigneaux 2008). Cette méthode a été reprise et utilisée de façon routinière pendant l'hiver 2008 et le printemps 2009 pour obtenir des spores et ensemencer les ficelles destinées aux cultures en mer. Il s'agit donc d'une validation de la méthode qui s'avère reproductible.

En parallèle, des suspensions de gamétophytes ont aussi été cultivées *in vitro* dans un incubateur de laboratoire pour servir de réserve en cas d'échec des précultures en écloserie (Leblanc et Tamigneaux 2008). Les ficelles de kuralon se sont révélées très

efficaces pour retenir les gamétophytes lors de l'ensemencement des ficelles par pulvérisation. Les résultats montrent également que les plantules croissent aussi bien que sur les ficelles de kuralon que sur celles de nylon (Figure 13 A). En fait, dans les aquariums de l'écloserie, les premiers embryons de plantules sont apparus 12 jours plus tôt sur les ficelles de kuralon ensemencées avec les gamétophytes que sur les ficelles de nylon ensemencées avec des spores. La comparaison des deux méthodes s'est poursuivie en mer au printemps 2009. Après 3 mois de culture en mer, les plants sur les ficelles kuralon étaient plus longs que ceux des ficelles de nylon (Figure 13 B). Cette différence peut être attribuable à la densité de plants puisqu'en juillet la ficelle de nylon portait deux fois plus de plants par mètre que la ficelle de kuralon. La densité peut initialement avoir été affectée par la méthode d'ensemencement, les ficelles de nylon étant ensemencées avec des spores (structure unicellulaire) et les ficelles de kuralon, avec des gamétophytes (structure pluricellulaire). La biomasse était également plus élevée sur les ficelles de kuralon (Figure 15 B). Des études plus poussées, avec davantage de réplicats, seront cependant nécessaires pour valider ces tendances.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMMANDATIONS

Les résultats obtenus sont positifs et montrent que des laminaires transférées en mer en automne à une taille inférieure à 5 mm sur une filière maintenue à 7-8 m sous la surface peuvent non seulement passer l'hiver en mer, mais aussi peuvent croître de manière considérable jusqu'en juillet. Les algues sont ainsi en mesure de profiter des bonnes conditions de croissance qui prévalent entre avril et juillet.

Les rendements obtenus (3,3 kg/m) en 2009, après 8 mois de culture en mer, représentent le double de ce qui a été obtenu à la fin des essais de 2006 et 2007 et les plants étaient de bien meilleure qualité. Ces rendements pourraient possiblement être accrus en remontant la filière de quelques mètres, tôt au printemps. Il conviendrait aussi de vérifier si une réduction de la densité des plants sur la filière peut se traduire par une amélioration des rendements.

Ainsi, la mise à l'eau de plantules à la fin de l'automne et leur retrait au début de l'été se révèle être jusqu'à présent la meilleure stratégie de culture. La récolte en juillet permet de prévenir l'accumulation des biosalissures et des épibiontes et d'éviter complètement les nuisances que les bryozoaires encroûtants peuvent causer aux cultures plus tard dans l'été.

Les cycles de culture plus courts (environ 4 mois) qu'ils soient démarrés à l'automne, au début de l'hiver ou au printemps sont par contre apparus insuffisants pour produire une biomasse assez élevée pour une exploitation commerciale basée sur le volume (fertilisant à base d'algues). Néanmoins, au bout de 2 à 6 mois de culture, les algues avaient certaines caractéristiques qui pourraient présenter un intérêt pour le secteur de l'alimentation humaine (frondes minces, petite taille etc.).

Le présent projet a également permis de montrer qu'il est désormais possible, en routine, de manipuler la maturation des plants géniteurs pour obtenir des spores compétentes en dehors de la période naturelle de reproduction qui, dans la baie des Chaleurs, est limitée à l'automne. La démonstration a aussi été faite que la conservation de gamétophytes de *S.*

longicruris en suspension dans des cultures liquides *in vitro* (« free-living ») constitue une bonne solution de rechange en l'absence de plants matures. Cette méthode permet d'ensemencer à tout moment des ficelles de culture et les rendements qui ont été obtenus en mer sont équivalents à ceux des ficelles ensemencées avec des spores.

Finalement, le projet a montré qu'il sera nécessaire d'adapter les bateaux et les filières spécifiquement pour la culture des laminaires. Il conviendrait aussi d'amorcer un travail de réflexion pour optimiser les méthodes de travail, en particulier à l'étape d'installation des ficelles avec les plantules sur les filières.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. Raymond Ferembach et Mme Gisèle Ferembach de l'entreprise *Les Gaspésiennes-Algues inc.*, pour leur implication et leur soutien à toutes les étapes du projet. Nous remercions également les plongeurs MM. Stéphane Appleby et Frank Mauger pour leurs interventions sous-marines. Le succès du projet doit beaucoup à l'excellent travail des techniciens, MM. Daniel Bourdages et Antoine Dumais-Roy, et de la coordonnatrice à la recherche de Halieutec, Mme Marie-Lyne Larrivée. Le projet a aussi bénéficié de la contribution du Centre aquicole marin de Grande-Rivière (MAPAQ) qui a mis à notre disposition un bateau de mariculture et son équipage : David Fortin, Ian Beaudin et Réal Joncas. Les auteurs remercient le Centre d'études et de valorisation des algues marines (CEVAM) pour le support financier à Claude Leroux pendant la rédaction. Les auteurs remercient également Madeleine Nadeau et Charley Cyr pour leurs commentaires sur le manuscrit.

Tableau 10. Comparaison des calendriers de culture, de la taille à la mise en mer et des rendements à la récolte pour différentes espèces de laminaires cultivées dans l'hémisphère nord.

Espèce	Pays - région	Période de culture	Durée de culture en mer (mois)	Taille à la mise en mer (mm)	Biomasse humide par mètre linéaire de filière (kg / m)	Références
Saccharina longicruris	Paspébiac (Québec) [b]	Novembre-juillet	8	4	3,3 (1,9 – 4,5)	Cette étude
Saccharina longicruris	Paspébiac (Québec) [a]	Mai-novembre	7	173	0,1 (nov.) 6 (août)	(Gendron et Tamigneaux 2008)
Saccharina longicruris	Grande-Rivière (Québec) [a]	Mi-avril-novembre	6 1/2	158	0,2 (nov.) 5 (juil.)	(Gendron et Tamigneaux 2008)
Saccharina longicruris	Paspébiac (Québec) [a]	Mai-octobre	6	50-60	1,7	(Gendron *et al.* 2007)
Laminaria saccharina	Baltique (Allemagne) [b]	Janvier-juin	6	10	4	(Buck et Buchholz 2004)
Laminaria saccharina	Baie de Fundy (Nouveau-Brunswick) [b]	Novembre-juillet	7-9	0,5-1	8 à 20	(Ridler *et al.* 2006)
Laminaria saccharina	Galice (Espagne) [b]	Février-mai	4	2-4	6	(Peteiro *et al.* 2006)
Laminaria digitata	Bretagne (France) [b]	Octobre-juillet	21	1-4	13	(Anonyme 1997)
Laminaria digitata	Bretagne (France) [b]	Octobre-octobre	12	1-4	10	(Anonyme 1997)
Laminaria digitata et Laminaria hyperborea	Irlande [b]	Octobre-octobre	12	N.D.	10-20	Irish Seaweed Center www.irishseaweed.com
Alaria esculenta	Irlande [b]	Novembre-avril	6	1-2	7-45	(Kraan et Guiry 2000)
Undaria pinnatifida	France [a]	Octobre-janvier	5	N.D.	10-20	(Kaas et Perez 1990)
Undaria pinnatifida	N.D. [a]	Décembre-avril	5	3-5	11-12	(Pérez *et al.* 1992)

Note : [a] segments de ficelle insérés dans les torons de la corde de culture [b] ficelle enroulée en spirale autour de la corde de culture.

7. BIBLIOGRAPHIE

Andersen, R.A. (éditeur). 2005. Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press. 578 p.

Anonyme. 1990. Seaweed culture in Japan. Yamaha Fishery Journal 31: 1-6.

Anonyme. 1997. Développement de la culture des algues. Premiers essais de culture en mer de *Laminaria digitata* et production expérimentale de plantules en écloserie. Centre d'étude et de valorisation des algues (Pleubian, France). 12 p.

Arbonna, J.F. et Molla, M. 2006. Cultivation of the brown seaweed *Alaria esculenta*. Dublin, BIM. Aquaculture explained, report N° 21, 50 p.

Bolton, J.J. et Lüning, K. 1982. Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic *Laminaria* species (Phaeophyta) in culture. Marine Biology 66: 89-94

Box, G.E.P., Hunter, W.G. et Hunter, J.S. 1978. Statistics for experimenters – An introduction to design, data analysis and model building. New York: John Wiley & Sons, inc. 653 p.

Buck, B.H. et Buchholz, C.M. 2004. The offshore-ring: a new system design for the open aquaculture of macroalgae. Journal of Applied Phycology 16: 355-368.

Chapman, A.R.O. 1987. The wild harvest and culture of *Laminaria longicruris* in eastern Canada. *In* Case studies of seven commercial seaweed resources. Edited by Doty, M.S., Caddy, J.F., and Santelices, B. FAO Fisheries technical paper - T281, FAO, Rome. 311 p.

Davidson, L.-A., Niles, M. et Légère, L. 2007. Proceedings of the Southern Gulf Scallop Fishery Workshop:Moncton, New Brunswick, March 30-31, 2006. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2785: vii+87p.

Druehl, L.D. 1980. The development of an edible kelp culture technology for British Columbia 1. Preliminary studies. Marine Resource Branch. Ministry of environment. Province of British Columbia. 43 p.

Druehl, L.D. 1988. Cultivated edible kelp. *In* Algae and Human Affairs. Edited by Lembi C.A., and Waaland, R.J. Cambridge University Press. pp. 119-134.

Gendron, L. 1983. Inventaire des populations de Laminaires de la baie des Chaleurs (secteur Caps noirs - Pointe Bonaventure). Cahier d'information N° 111. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de la recherche scientifique et technique. 52 p.

Gendron, L. 1989. Seasonal growth of the kelp *Laminaria longicruris* in Baie des Chaleurs, Québec, in relation to nutrient and light availability. Botanica Marina 32: 345-354.

Gendron, L., Gauthier, P. et Savard, G. 2007. Expériences préliminaires de culture de l'algue brune *Laminaria longicruris* en laboratoire et en mer au large de Paspébiac (Québec) en 2006. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2731. 53 p.

Gendron, L. et Tamigneaux, E. 2008. Expériences de culture de l'algue brune *Saccharina longicruris* en 2007 : essais en bassin et en mer au large de Paspébiac et de Grande-Rivière (Québec). Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2820: x+48 p.

Irish Seaweed Center. www.irishseaweed.com. Site consulté en septembre 2008.

Kaas, R. et Pérez, R. 1990. Study of the intensive culture of *Undaria* on the coast of Brittany. *In* FAO, Fisheries and aquaculture department. Technical resource papers. Regional workshop on the culture and utilization of seaweeds. Volume II, 180 p.

Kraan, S. et Guiry, M.D. 2000. Phase II: Strain hybridization field experiments and genetic fingerprinting of the edible brown seaweed *Alaria esculenta*. Rapport final du contrat IR.97.MR.005. Marine Research Measure (Operational Programme for Fisheries 1994-1999) en coopération avec le Irish Seaweed Industry Organisation (ISIO), 33 p.

Leblanc, M.-J. et Tamigneaux, E. 2008. Amélioration des techniques de culture des algues marines: culture *in vitro* de semences de la laminaire à long stipe et ensemencement de cordes de culture. Ministère de l'éducation, du loisir et du sport (MÉLS), rapport PART2007N003, 53 p.

Marsot, P. et Fournier, R. 1992. Faisabilité biologique de la reproduction de *Laminaria longicruris* et de la croissance des jeunes sporophytes en laboratoire. *In* Projet d'étude de faisabilité technique et économique de la culture d'algues alimentaires aux Îles-de-la-Madeleine. Programme d'essai et d'expérimentation halieutique et aquicole. Rapport final N° 429 produit par Pêcheries Hubert Inc. en collaboration avec Technomar Canada. 106p.

Pang, S.J. et Lüning, K. 2004. Breaking seasonal limitation: year-round sporogenesis in the brown alga *Laminaria saccharina* by blocking the transport of putative sporulation inhibitors. Aquaculture. 240 (1-4): 531-541.

Pérez, R., Kaas, R., Barbaroux, O., Arbault, S., Le Bayon, N. et Moigne, J.Y. 1990. Technique de culture pour les côtes bretonnes de l'algue alimentaire *Undaria pinnatifida*. Tableau de marche - Étude économique. IFREMER, Nantes. 65 p.

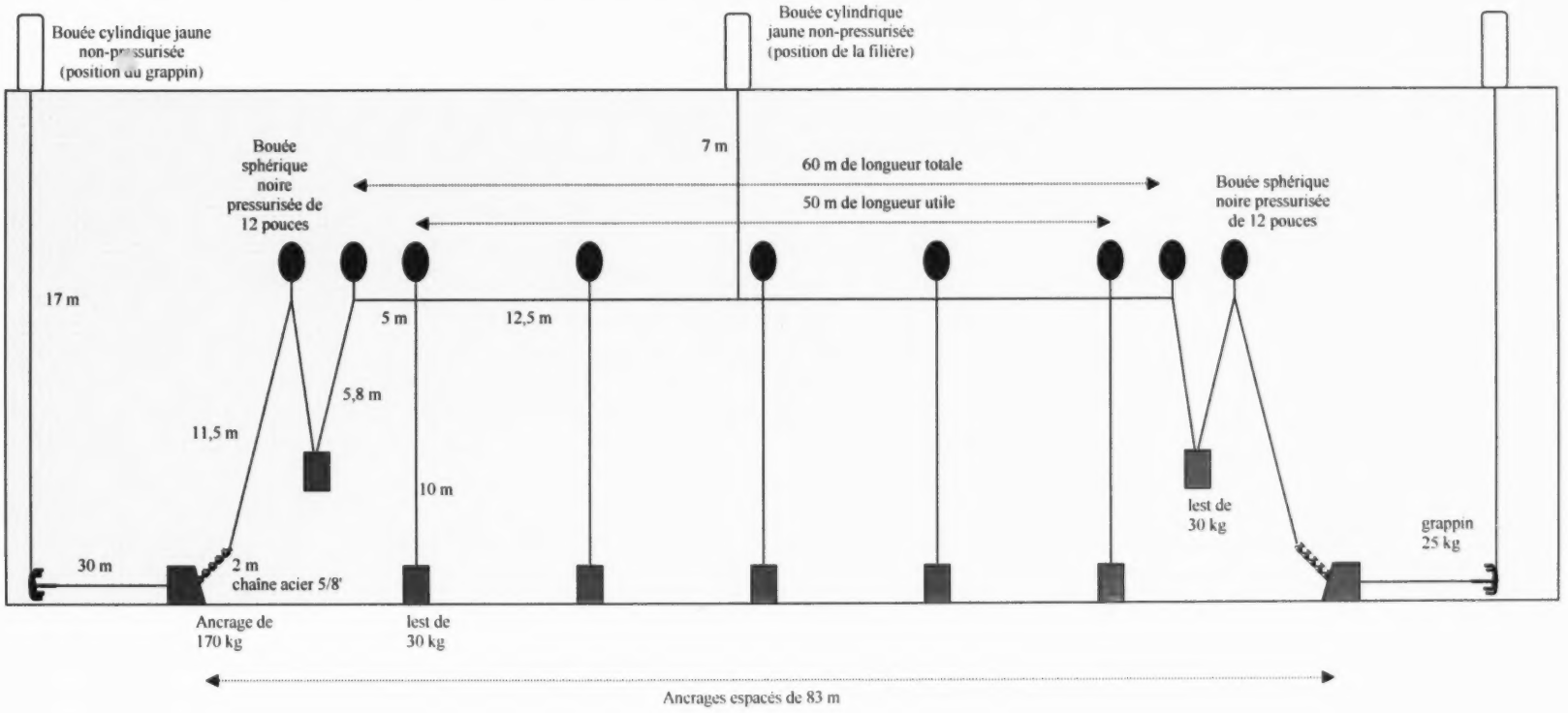
Pérez, R., Kaas, R., Campello, F., Arbault, S. et Barbaroux, O. 1992. La culture des algues marines dans le monde. Editions IFREMER. 613 p.

Peteiro, C., Salinas, J.M., Freire, O. et Fuertes, C. 2006. Cultivation of the autoctonous seaweed *Laminaria saccharina* off the Galician coast (NW Spain): production and features of the sporophytes for an annual and biennial harvest. Thalassas 22: 45-53.

Ridler, N., Robinson, B., Chopin, T., Robinson, S. et Page, F. 2006. Development of integrated multi-trophic aquaculture in the Bay of Fundy, Canada: a socio-economic case study. World Aquaculture 37: 43-47.

Steel, R.G.D. et Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. – A biometrical approach. 2ième édition. New York: McGraw-Hill. 633 p.

ANNEXE 1. MODÈLE DE FILIÈRE UTILISÉ À PASPÉBIAC POUR LES ESSAIS DES TROIS CYCLES DE PRODUCTION DE LAMINAIRES EN 2008-2009.



Éléments de la filière:

- 9 bouée sphériques de 12 pouces (14,5 kg de flottabilité)
- 3 bouées cylindriques à la surface (2 à l'extrémité des grappins et une au centre de la filière)
- 2 x 6 pieds de chaîne en acier (⅝)
- 4 émerillons en acier inoxydable (¾)
- 5 lests de jambe
- 2 lests amortisseurs
- 2 grappins en fer de 25 kg
- 2 blocs d'amarrages (parallélépipède bisauté avec armature et œillets métalliques)

Lest utilisés:

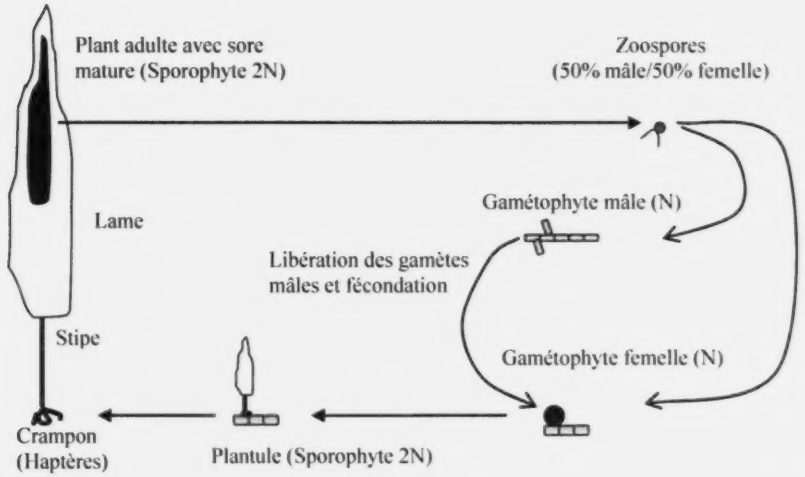
- Lest en béton armé des deux amarres: 190 kg (80 kg sous l'eau)
- Lest en béton des cinq jambes: 30 kg (15 kg sous l'eau)
- Lest en béton du V de l'amortisseur: 30 kg (15 kg sous l'eau)

Diamètre des cordes en polypropylène:

- ¾ pouces pour la ligne maîtresse
- ¾ pouces pour la ligne d'amarrage
- ¾ pouces pour la ligne entre le bloc d'anmarrage et le grappin.

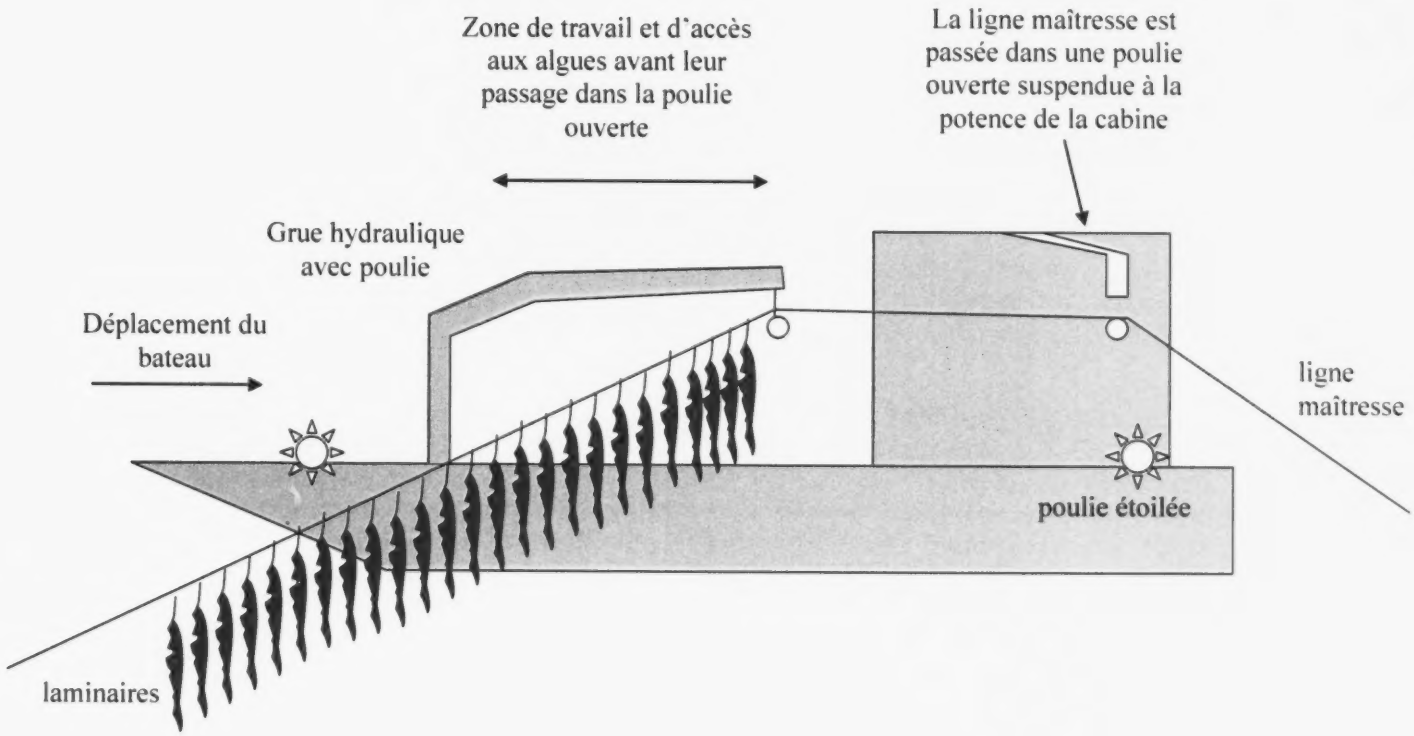
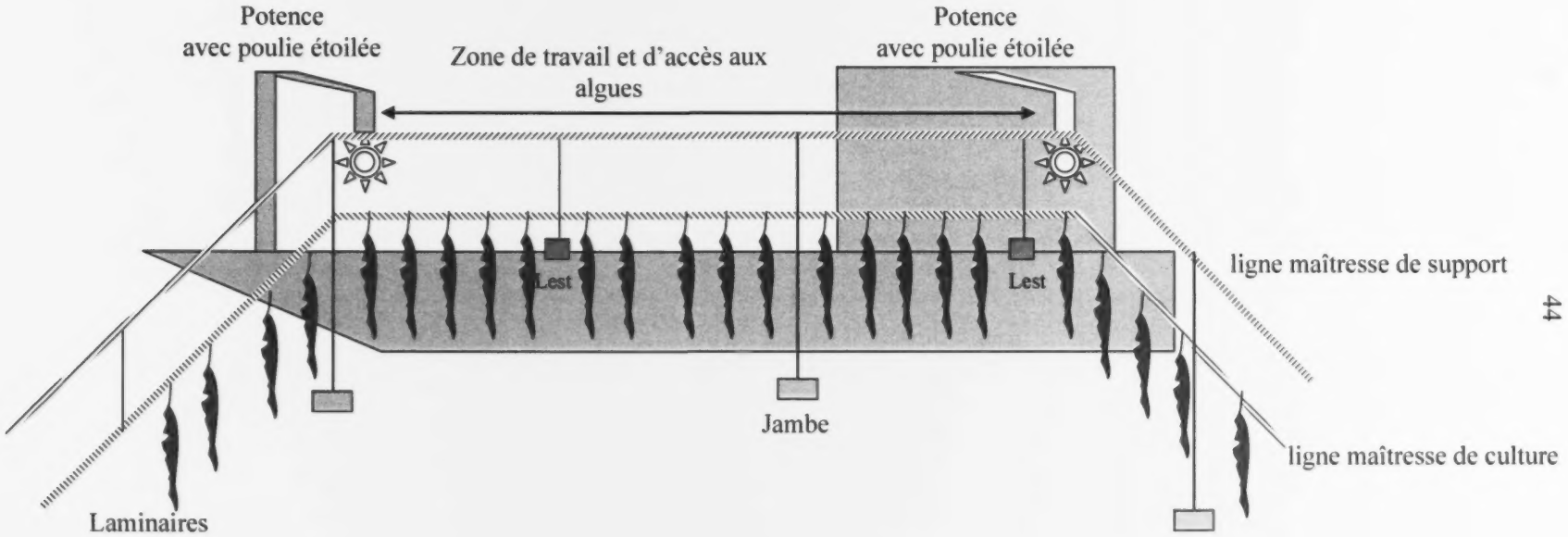
Pour tous les autres cordage (boucle d'attache des bouées, etc.), le diamètre était de ½ pouces.

ANNEXE 2. CYCLE VITAL DE SACCHARINA LONGICRURIS



Le cycle vital des laminaires est caractérisé par une alternance de générations dans leur développement. Le sporophyte macroscopique (diploïde; 2 N) alterne avec le gamétophyte microscopique (haploïde; 1 N) (Perez *et al.* 1992). Le sporophyte est une plante complète qui recouvre les fonds marins rocheux. Il est composé d'un crampon, d'un stipe et d'une lame (ou fronde). Lorsqu'il est mature, en automne, le sporophyte développe sur sa lame des structures appelées sores. Chez S. longicruris, les plants fertiles portent leurs sores sur la partie distale de la lame. Les sores contiennent les zoospores. Ce sont des spores mobiles qui possèdent deux flagelles. Lorsqu'ils sont libérés des sores, ils nagent puis se déposent et adhèrent au fond. Une fois fixés, les zoospores perdent leurs flagelles et germent en un filament microscopique ramifié qui évoluera en un gamétophyte mâle ou femelle. Ceux-ci produiront alors respectivement des gamètes mâles et femelles. Lors de la fertilisation, les gamètes fusionnent pour former un zygote (2N) qui se développera durant l'hiver pour former une jeune plantule macroscopique (sporophyte). Au printemps suivant, le sporophyte aura l'aspect d'une jeune pousse avec toutes les parties caractéristiques de l'algue (fronde, stipe, crampon).

ANNEXE 3. APPROCHE UTILISÉE POUR L'INSTALLATION DES CORDES SUR LA LIGNE MAÎTRESSE DANS LE PRÉSENT PROJET



ANNEXE 4. PROTOTYPE DE FILIÈRE À DEUX LIGNES MAÎTRESSES ET DE BATEAU POUR LA CULTURE DES LAMINAIRES